



Strategie für die Elektrifizierung
des Straßengüterverkehrs

Anforderungen der Logistikbranche an einen Umstieg auf klimaschonende Fahrzeugtechnologien

Ergebnisbericht einer standardisierten Befragung.

Berlin, 24.02.22

Zweiter Teilbericht des Forschungs- und Dialogvorhabens
„StratES: Strategie für die Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs“

Autorinnen und Autoren

Dr. Katharina Göckeler, Florian Hacker, Lukas Ziegler
Öko-Institut e.V.

Jonas Heinzemann, Leonie Lesemann, Prof. Dr. Tobias Bernecker
Hochschule Heilbronn

Danksagung

Die Autorinnen und Autoren bedanken sich herzlich bei allen Unternehmen, die mit Ihrer Teilnahme an der Erhebung unser Forschungsvorhaben unterstützt haben.

Zudem gilt unser Dank dem „Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung e.V.“ (BGL) und dem „Bundesverband Spedition und Logistik e.V.“ (DSL) für die Mitwirkung an der Konzeption der Befragung sowie der Ansprache der Transportunternehmen.

Wir bedanken uns außerdem bei Aproxima für die zuverlässige technische Umsetzung der Online-Befragung.

Zitierempfehlung:

K. Göckeler, J. Heinzlmann, F. Hacker, L. Lesemann, L. Ziegler, T. Bernecker (2022): Anforderungen der Logistikbranche an einen Umstieg auf klimaschonende Fahrzeugtechnologien. Ergebnisbericht einer standardisierten Befragung. Zweiter Teilbericht des Forschungs- und Dialogvorhabens StratES. Berlin, Heilbronn: Öko-Institut, Hochschule Heilbronn.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz



Erneuerbar
mobil

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	6
Zusammenfassung	7
Summary	11
1. Einleitung	15
1.1. Hintergrund	15
1.2. Ziele und Einordnung	16
1.3. Methodik	17
2. Teilnehmendenstruktur	19
2.1. Unternehmensstrukturen	19
2.2. Fuhrpark	22
2.3. Geschäftstätigkeiten	23
3. Interesse an alternativen Antrieben und Kraftstoffarten	27
3.1. Erfahrungen mit und Interesse an alternativen Antrieben oder Kraftstoffen	28
3.2. Einschätzungen zur Marktrelevanz der Technologieoptionen im Jahr 2030	31
3.3. Kriterien für die Umstellung des Fuhrparks auf alternative Fahrzeuge	35
4. Anforderungen des Transport- und Logistikmarkts	38
4.1. Anforderungen an den Fahrzeugbetrieb	38
4.2. Anforderungen an die Fahrzeuganschaffung	51
4.3. Anforderungen an die Politik und das Marktumfeld	57
5. Zentrale Herausforderungen für die Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs	62
Literaturverzeichnis	66

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Übersicht über die Themenschwerpunkte und Ergebnisse der Befragung	8
Abbildung 2-1:	Unternehmensart und -größen der Befragungsteilnehmenden (n = 250)	19
Abbildung 2-2:	Anzahl von Fahrern und Fahrerinnen in eigener Anstellung und bei Subunternehmern (n = 250)	21
Abbildung 2-3:	Durchschnittliche Anzahl von eigenen Fahrzeugen und Fahrzeugen im Auftrag und auf Rechnung pro Unternehmen (n = 234)	23
Abbildung 2-4:	Häufigkeit der Bedienung unterschiedlicher Einsatzprofile (n = 165)	24
Abbildung 2-5:	Überwiegende Einsatzarten nach Fahrleistungserhebung 2014 der BASt	25
Abbildung 2-6:	Aufteilung der Gesamtflottenfahrleistung nach Nah-/Regional- und Fernverkehr (n = 91)	26
Abbildung 3-1:	Erfahrungen und Interesse an alternativen Antriebs- und Kraftstofftechnologien (n=229)	29
Abbildung 3-2:	Zufriedenheit mit bereits eingesetzten alternativen Antriebs- und Kraftstofftechnologien (n = 117)	30
Abbildung 3-3:	Einschätzung der Marktrelevanz der alternativen Antriebs- und Kraftstofftechnologien im Jahr 2030 (n = 219)	32
Abbildung 3-4:	Relevanz ausgewählter Kriterien bei der Umstellung des Fuhrparks auf alternative Kraftstoff- und Antriebskonzepte (n = 139)	36
Abbildung 4-1:	Haupteinsatzprofile nach Relevanz – gemessen am Umsatzanteil (n = 144)	39
Abbildung 4-2:	Gesamtzahl an Fahrzeugen und Anhängern in den Fuhrparks der befragten Unternehmen (n = 160)	40
Abbildung 4-3:	Fahrzeugkategorien in den meistgenannten Einsatzprofilen (n = 116)	41
Abbildung 4-4:	Erforderliche Tagesreichweiten des Fahrzeugeinsatzes (n = 60)	42
Abbildung 4-5:	Verteilung der Tagesfahrleistung von Sattelzugmaschinen (SZM) und Lkw ab 16 Tonnen in der Erhebung KiD2010 (Stichprobe: 2.509 Fahrzeuge)	43
Abbildung 4-6:	Erforderliche Tagesfahrleistung in den Einsatzprofilen (n = 60)	44
Abbildung 4-7:	Gesamtstandzeiten in den meistgenannten Einsatzprofilen (n = 46)	46
Abbildung 4-8:	Durchschnittliche Einsatzzeiten über alle Einsatzprofile (n = 46)	47
Abbildung 4-9:	Maximal zulässiger Umweg der Tagestouren (in km) (n = 78)	48
Abbildung 4-10:	Relevanz ausgewählter Kriterien bei der Umstellung des Fuhrparks auf alternative Kraftstoff- und Antriebskonzepte im Haupteinsatzprofil	50
Abbildung 4-11:	Relevanz von Kriterien bei der Fahrzeug-Neuanschaffung (n = 93)	52
Abbildung 4-12:	Einschätzungen zur Fuhrparkfinanzierung (n = 94)	53
Abbildung 4-13:	Weiternutzung der Fahrzeuge nach kalkulatorischer Nutzungsdauer (n = 89)	56

Abbildung 4-14:	Kriterien für die Ermittlung des Wiederverkaufswertes bei konventionellen Diesel-Lkw (n = 87)	56
Abbildung 4-15:	Beurteilung derzeitiger politischer Maßnahmen zur Förderung alternativer Antriebe (n = 78)	58
Abbildung 4-16:	Bewertung möglicher zukünftiger politischer Hilfestellungen zur Umstellung des Fuhrparks auf Fahrzeuge mit alternativen Antrieben (n = 189)	60

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Vergleich der Unternehmensgrößen in der Logistikbranche (n = 250)	20
Tabelle 4-1:	Kalkulatorische Nutzungsdauer nach Fahrzeugklassen (n = 70)	54

Zusammenfassung

Hintergrund

Die Dekarbonisierung des Straßengüterverkehrs erfordert einen schnellen Wechsel der Antriebstechnologie hin zu elektrisch angetriebenen Lkw. Neben der direkten Stromnutzung mittels Batterie und Oberleitung werden auch wasserstoffbasierte Antriebsoptionen – insbesondere Brennstoffzellen-Lkw – in der Branche als vielversprechend diskutiert. Gegenüber der aktuell beherrschenden Diesels-technologie und den breiter erprobten Kraftstoffalternativen, wie Biokraftstoffen und Erdgas, zeichnen sich die elektrischen Antriebstechnologien durch deutlich veränderte Fahrzeugeigenschaften und eine stark veränderte Kostenstruktur aus.

Für den erforderlichen, schnellen Markthochlauf von alternativ betriebenen Lkw ist die Akzeptanz bei den Anwenderinnen und Anwendern der Logistikbranche von zentraler Bedeutung. Um die Potenziale und notwendigen Rahmenbedingungen verlässlich bewerten zu können, ist sowohl ein tiefergehendes Verständnis der Einsatzanforderungen und der Kostenkalkulation in unterschiedlichen Anwendungen notwendig als auch ein Wissen um die möglichen Vorbehalte und Handlungserfordernisse aus Perspektive der anwendenden Unternehmen.

Ziele und Vorgehen

Bisherige Potenzialanalysen für alternative Antriebe im Straßengüterverkehr betrachten die Logistikbranche meist wenig differenziert. Marktpotenziale werden in der Regel auf Basis von stark aggregierten, typischen Einsatzprofilen und unter Berücksichtigung von Standardkostenrechnungen bestimmt. Ziel dieses Papiers ist es, die aktuelle Perspektive der Logistikbranche auf alternative Antriebe bei schweren Nutzfahrzeugen empirisch fundiert zu beleuchten und deren Anforderungen an Rahmenbedingungen und Fahrzeuge zu konkretisieren. Dies soll ermöglichen, Herausforderungen für den Markthochlauf von alternativ betriebenen Lkw zukünftig auch aus Anwendungsperspektive besser abbilden zu können und somit zu einer realistischeren Einschätzung der Marktpotenziale zu kommen.

Die Ergebnisse beruhen auf einer standardisierten Online-Befragung von 250 Unternehmen der Logistikbranche im Frühjahr 2021. Die Inhalte der Befragung bauen auf vorab geführten Interviews und Workshops mit Expertinnen und Experten auf. Die Teilnehmenden rekrutieren sich aus den Mitgliedern der Branchenverbände BGL (Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung e.V.) und DSLV (Bundesverband Spedition und Logistik e.V.). Die Durchführung erfolgte mit der Unterstützung der approxima GmbH im Rahmen des Forschungsvorhabens StratES, gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) im Programm „Erneuerbar mobil“.

Zentrale Ergebnisse der Befragung

Bisherige Erfahrungen der Logistikbranche mit alternativen Antrieben und Kraftstoffen beschränken sich weitestgehend auf Erdgas und Biokraftstoffe. Trotz mangelnder Erfahrungen mit alternativen Antrieben, bewerten die befragten Transportunternehmen für das Jahr 2030 insbesondere wasserstoffbetriebene Lkw als vielversprechend. Der Einsatz batterieelektrischer und insbesondere Oberleitungs-Lkw – die bereits zeitnah signifikante Dekarbonisierungspotenziale versprechen – wird deutlich pessimistischer gesehen.

Die betriebliche Zuverlässigkeit und Eignung der Fahrzeuge für die Tourenanforderungen (inkl. Nutzlastanforderungen) als auch eine flächendeckende Energieversorgungsinfrastruktur sind für die Anwender:innen die zentralen Notwendigkeiten für den Einsatz von alternativen Antrieben in der Transportbranche. Umwege für die Erreichung der Energieversorgungsinfrastruktur werden meist nur in sehr geringem Maße toleriert (Schwelle von max. 10 km). Höhere Anschaffungskosten werden zwar als relevantes Hemmnis für die Flottenumstellung genannt, allerdings werden günstigere Betriebskosten für die Antriebsalternativen für eine Flottenumstellung nicht vorausgesetzt.

Die Aussagen der befragten Transportunternehmen zu den Anforderungsprofilen bestätigen bisherige Analysen. Im Regionalverkehrseinsatz sind 500 km Tagesreichweite für 85 % der befragten Unternehmen ausreichend. Rund 60 % würden auch mit 400 km ihre Touren bewältigen können. Im Durchschnitt beträgt die tägliche Reichweitenanforderung 390 km. Im Fernverkehr äußern hingegen 80 % der Befragten eine benötigte Tagesreichweite von maximal 800 km. Für eine 100 %-Abdeckung der Touren der befragten Unternehmen wären bis zu 1.500 km notwendig.

Die mittleren täglichen Standzeiten der Fahrzeuge sind mit etwa 16 Stunden relativ hoch. Davon entfallen durchschnittlich etwa 12 Stunden auf Standzeiten durch Ruhe-, Pausen- oder andere Standzeiten (ohne Staus), weitere 3 Stunden auf die Be- und Entladung der Fahrzeuge und etwa 1 Stunde auf nicht planbare Wartezeiten vor den Be- und Entladezonen. Die Standzeiten können erste

Abbildung 1-1: Übersicht über die Themenschwerpunkte und Ergebnisse der Befragung

Standardisierte Befragung der Mitgliedsunternehmen von BGL und DSLV im Projekt StratES: Teilnahme von 250 Transportunternehmen im Frühjahr 2021		
Anforderungen an den Fahrzeugbetrieb	Anforderungen an die Fahrzeuganschaffung	Anforderungen an die Politik und das Marktumfeld
Die betriebliche Zuverlässigkeit ist eine wesentliche Voraussetzung für die Akzeptanz klimaschonender Fahrzeugtechnologien.	Als wichtigstes Kriterium der Kaufentscheidung wird die Zuverlässigkeit des Fahrzeugs benannt. Bewährte Modelle werden bevorzugt angeschafft.	Von der Politik werden Planungssicherheit und zuverlässige Richtungsentscheidungen bzgl. der zukünftigen Fahrzeugtechnologien gefordert.
Als Tagesreichweite werden im Nah- und Regionalverkehr 500 km und im Fernverkehr 800 km gefordert (von 85% bzw. 80% der Unternehmen).	Die Gesamtkosten kommen bei der Kaufentscheidung zum Tragen, sofern die Zuverlässigkeit und Praxistauglichkeit des Fahrzeugs gegeben sind.	Ein Aufbau von alternativer Lade-/Tankinfrastruktur wird als zentrale Voraussetzung für den Umstieg auf klimaschonende Fahrzeuge benannt.
Typische Standzeiten summieren sich auf durchschnittlich 16 Std. am Tag: ca. 3 Std. entfallen auf das Be- und Entladen, Staus und Wartezeiten werden mit etwa 1,5 Std. angegeben.	Bei der Finanzierung überwiegt der Fahrzeugkauf mit einem Anteil von 90% (der Fahrzeuge) gegenüber einer Leasingfinanzierung.	Zusätzlich werden monetäre Hilfestellungen (Kaufprämien, Maut-/Kfz-Steuerentlastungen, EEG-Befreiung) mehrheitlich als hilfreich bewertet.
Umwege zum Erreichen alternativer Lade- und Tankinfrastruktur werden nur im geringen Umfang toleriert (bis zu 10 km von ca. 60% der Unternehmen).	Die kalkulatorische Nutzungsdauer ergibt für Sattelzugmaschinen durchschnittlich 5 bis 6 Jahre und für Anhänger / Sattelaufleger ca. 10 Jahre.	In Anbetracht des Handlungsdrucks wird ein mangelndes Angebot an praxistauglichen und klimaschonenden Fahrzeugalternativen kritisiert.
Sammel-/Verteilerverkehre sowie Auslieferung/Abholung bieten frühe Elektrifizierungspotenziale, Gefahrguttransporte und Spezial-/Schwertransporte sind bzgl. der Reichweitenansprüche herausfordernd.	Das Restwertrisiko durch Unsicherheiten bei neuartigen Komponenten und politischen Rahmenbedingungen wird als Hemmnis für die Investition in alternative Fahrzeugtechnologien bewertet.	Niederschwellige Informationsangebote zu Fahrzeugtechnologien sowie Fördermaßnahmen und -bedingungen sind angesichts einer Vielzahl an Kleinunternehmen notwendig.

Quelle: Eigene Darstellung

Anhaltspunkte für die Frage nach Zeiträumen für die stationsgebundene Energieversorgung liefern. Die Toleranz von Umwegen zur Energieversorgung ist, wie oben erwähnt, in der Logistikbranche gering.

Die Kaufentscheidung ist von der Zuverlässigkeit und Bewährtheit der Fahrzeugmodelle geprägt. Die Gesamtkosten (Total Cost of Ownership, TCO) werden als zweitwichtigstes Kriterium genannt. Der TCO-Ansatz von Marktprojektionen scheint also legitim, sofern die Praxistauglichkeit der Fahrzeuge gegeben ist. Zusätzlich sollte eine Risikoaversion für neuartige Fahrzeugmodelle berücksichtigt werden.

Es wird in allen der diskutierten Fragen bezüglich politischer Maßnahmen deutlich, dass die Anwender:innen bisher keine klare politische Strategie mit Blick auf die diskutierten Antriebsoptionen erkennen können. Es fehlen ihnen die Planungssicherheit sowie der Praxisbezug der aktuell diskutierten Konzepte. Gefordert werden insbesondere ein Infrastrukturausbau sowie Unterstützung im monetären Bereich, um die Umstellung auf alternative Antriebe für Unternehmen realisierbar zu machen.

Neben den oben beschriebenen Aspekten bietet Abbildung 1-1 eine Übersicht über die Ergebnisse der Befragung und der gesetzten Themenschwerpunkte. Basierend auf den Ergebnissen werden mit Blick auf einen Wechsel zu klimaschonenden Fahrzeugtechnologien zentrale Herausforderungen und Handlungsempfehlungen abgeleitet, welche im Folgenden aufgeführt sind.

Herausforderungen für die Einführung von Antriebsalternativen bei schweren Nutzfahrzeugen mit Blick auf die Nutzungsperspektive

Die heterogene Struktur der Logistikbranche mit einer Vielzahl an Klein- und Kleinstunternehmen sowie die Diskrepanz zwischen bisherigen Erfahrungen mit alternativen Kraftstoffen und Antrieben - mit Schwerpunkt auf Erdgas und Biokraftstoffen - und aktuell als vielversprechende Alternativen diskutierte Technologieoptionen, wie elektrische Antriebe, gestalten den erforderlichen schnellen Technologiewandel herausfordernd.

→ Eine klare Kommunikation der für den Klimaschutz zielführenden Technologiepfade, die das breite Spektrum der anwendenden Unternehmen erreicht, wie auch die Gelegenheit zur frühzeitigen Technologieerprobung sind voraussichtlich erforderlich, um das notwendige Vertrauen in die Alternativen bei den Anwendern und Anwenderinnen zu erlangen. Ergänzend bieten gezielte Austauschformate die Möglichkeit die Erfahrungen von Vorreiter-Unternehmen zu streuen.

Die Logistikbranche erwartet von alternativen Kraftstoff- und Antriebsoptionen eine zum Diesel-Lkw vergleichbare betriebliche Zuverlässigkeit und ein ähnliches Einsatzspektrum. Keine der diskutierten Technologieoptionen kann dies jedoch bis zum Jahr 2030 vollständig gewährleisten.

→ Die Erprobung von alternativen Antriebstechnologien im Praxisalltag ist ein entscheidender Faktor, um Vertrauen in eine neue Technologie und ihre betriebliche Zuverlässigkeit zu gewinnen. Eine stufenweise Elektrifizierung der Einsatzfelder entlang der technischen Machbarkeit sollte von einem engen Dialog mit den Anwenderinnen und Anwendern begleitet werden. Praxistaugliche Zielbilder aus Fahrzeugkonfiguration und Energieversorgungsinfrastruktur können helfen, Vorbehalte auch für herausfordernde Einsatzzwecke abzubauen.

Die Akzeptanz von alternativ angetriebenen Lkw im Regelbetrieb setzt eine zuverlässige und flächendeckende Ladeinfrastruktur voraus. Dies gilt insbesondere für anspruchsvolle Einsatzprofile mit oftmals hohen Fahrleistungen. Dem schnellen Aufbau stehen jedoch einerseits die verbleibende Unklarheit über den zukünftigen Technologiemarkt und andererseits die noch fehlenden international

abgestimmten, technischen Standards bzw. nicht vollständig ausgereiften Lösungen für die jeweiligen Energieversorgungsinfrastrukturen gegenüber.

- ➔ Die Entwicklung eines verlässlichen Ausbauplans zur Energieversorgungsinfrastruktur ist eine zentrale Voraussetzung, um die Investitionsbereitschaft der Logistikbranche in alternative Antriebstechnologien zu erhöhen. Der Aufbau von Ladeinfrastruktur in Depots sowie an Be- und Entladerampen als no-regret Maßnahme für elektrische Antriebe (Batterie-, Brennstoffzellen- und Oberleitungs-Lkw) sollte von einer klaren Strategie für den Aufbau von öffentlicher Energieversorgungsinfrastruktur speziell für schwere Nutzfahrzeuge begleitet werden.

Die Beschaffung von alternativ betriebenen Lkw ist für die Logistikbranche unter den gegebenen Rahmenbedingungen und angesichts fehlender Praxiserfahrung mit erheblichen Investitionsrisiken verbunden, die durch die bisherigen Fördermaßnahmen (Stand: Frühjahr 2021) aus Anwender:innenperspektive nur bedingt adressiert werden.

- ➔ Fördermaßnahmen sollten die Investitionsrisiken für Unternehmen mit Blick auf u.a. „Richtungssicherheit“ des Technologiepfads, Restwertentwicklung und Abschreibungsdauer berücksichtigen. Insbesondere Kleinunternehmen, die ein besonders hohes Investitionsrisiko tragen und über wenige personelle Kapazitäten verfügen, sollte ein niederschwelliger Zugang zu Fördermitteln gewährt werden. Spezielle Wartung-, Service- und Schulungsangebote seitens der herstellenden Unternehmen können den Absatz neuartiger Fahrzeugtechnologien fördern.

Ein fehlendes Zielbild, das sich in der Vergangenheit mit Blick auf die Dekarbonisierung des Straßengüterverkehrs u.a. in einem inkonsistenten Bild aus regulatorischem Umfeld und Herstellerstrategien geäußert hat und weiterhin an Klarheit für die Zukunft missen lässt, erschwert die Orientierung und Planungssicherheit für die Anwender:innen bei der Bewertung von Antriebsoptionen.

- ➔ Eine möglichst weitreichende Konkretisierung eines Technologie-Fahrplans ist erforderlich, um bei den Anwenderinnen und Anwendern Planungssicherheit und Technologievertrauen zu schaffen. Ebenso sollten Technologien, die perspektivisch keine oder eine nachgeordnete Rolle spielen werden, aktiv kommuniziert werden. Fördermaßnahmen sollten klar an dem Zielbild der Klimaneutralität im Jahre 2045 ausgerichtet sein.

Summary

Background

The decarbonization of road freight transport requires a rapid shift in drive technology toward electrically powered trucks. In addition to the direct use of electricity by means of batteries and overhead lines, hydrogen-based drive options - especially fuel-cell trucks - are also being discussed as promising. Compared to the currently dominant diesel technology and the more widely tested fuel alternatives, such as biofuels and natural gas, electric drive technologies are characterized by significantly changed vehicle characteristics and a greatly altered cost structure.

Acceptance by users in the logistics industry is of central importance for the necessary rapid market ramp-up of alternatively powered trucks. In order to be able to reliably assess the potential and the necessary framework conditions, it is necessary to have a deeper understanding of the application requirements and the cost calculation in different applications as well as knowledge of the possible reservations and requirements for action from the perspective of the user companies.

Goals and procedure

Previous analyses of the potential for alternative drive systems in road haulage have generally not taken a very differentiated view of the logistics sector. Market potentials are usually determined on the basis of highly aggregated, typical application profiles and taking into account standard cost calculations. The aim of this paper is to shed empirical light on the logistics sector's current perspective on alternative drive systems for heavy-duty commercial vehicles and to specify its requirements for framework conditions and vehicles. This should enable challenges for the market ramp-up of alternatively powered trucks to be better mapped in the future, also from an application perspective, and thus lead to a more realistic assessment of the market potential.

The results are based on a standardized online survey of 250 companies in the logistics industry in the spring of 2021. The content of the survey builds on interviews and workshops with experts conducted in advance. The participants are recruited from the members of the industry associations BGL (Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung e.V.) and DSLV (Bundesverband Spedition und Logistik e.V.). The survey was conducted with the support of approxima GmbH as part of the StratES research project, funded by the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection within the program "Erneuerbar Mobil".

Key findings of the survey

The logistics industry's experience to date with alternative drives and fuels is largely limited to natural gas and biofuels. Despite limited experiences, the transport companies surveyed see hydrogen-powered trucks in particular as promising for the year 2030. The use of battery-electric and especially overhead catenary trucks – while promising significant decarbonization potential already in the near future – is seen much more pessimistically.

The operational reliability and suitability of the vehicles for the tour requirements (incl. payload requirements) as well as an area-wide energy supply infrastructure are the central necessities for the use of alternative drives in the transport industry for the users. Detours to reach the energy supply infrastructure are usually only tolerated to a very small extent (threshold of max. 10 km). Higher acquisition costs are mentioned as a relevant barrier to fleet conversion, but more favorable operating costs for the drive alternatives are not assumed for fleet conversion.

The statements of the surveyed transport companies on the requirement profiles confirm previous analyses. In regional transport, a daily range of 500 km is sufficient for 85 % of the companies surveyed. Around 60 % would also be able to manage their tours with 400 km. On average, the daily range requirement is 390 km. In long-distance traffic, on the other hand, 80 % of respondents said they needed a maximum daily range of 800 km. For 100 % coverage of the tours of the companies surveyed, up to 1,500 km would be required.

The average daily idle times of the vehicles are relatively high at around 16 hours. Of this, an average of about 12 hours is accounted for by idle times due to rest, break or other idle times (excluding traffic jams), a further 3 hours by loading and unloading the vehicles and about 1 hour by unscheduled waiting times in front of the loading and unloading zones. The standing times can provide initial indications for the question of time periods for station-based energy supply. As mentioned above, the tolerance of detours for energy supply is low in the logistics sector.

Figure 1: Overview of the main topics and results of the survey

Standardized survey of BGL and DSLV member companies in the StratES project: Participation of 250 transport companies in spring 2021		
Requirements for vehicle operation	Requirements for vehicle acquisition	Requirements for policy and the market environment
Operational reliability is an essential prerequisite for the acceptance of climate-friendly vehicle technologies.	The most important criterion for the purchase decision is the reliability of the vehicle . Proven models are the preferred choice.	Users demand certainty for planning and reliable political decisions on the direction of future vehicle technologies.
The daily range required for urban and regional transport is indicated as 500 km and for long-distance transport 800 km (by 85% and 80% of the companies respectively).	Total costs of ownership come into play in the purchase decision, provided that the reliability and practicality of the vehicle are given.	The development of alternative charging/fueling infrastructure is named as a key prerequisite for the switch to climate-friendly vehicles.
Typical idle times add up to an average of 16 hours per day: about 3 hours are spent loading and unloading, traffic jams and waiting times are estimated on average at about 1.5 hours.	Purchase financing clearly outweighs lease financing, accounting for 90% of the vehicles in the survey.	In addition, monetary assistance (purchase premiums, toll/vehicle tax relief, EEG exemption) is rated as helpful by the majority.
Detours to reach alternative charging and refueling infrastructure are tolerated only to a small extent (up to 10 km by about 60% of the companies).	The imputed useful life amounts to on average 5 to 6 years for tractor units and approx. 10 years for trailers / semi-trailers.	In view of the pressure to act, a lack of practical and climate-friendly vehicle alternatives is criticized.
Collection/distribution transports and delivery/pickup offer early electrification potential, while hazardous goods and special/heavy transports feature challenging range requirements.	The residual value risk due to uncertainties in new components and political framework conditions is assessed as a barrier to investment in alternative vehicle technologies.	Low-threshold information services regarding vehicle technologies as well as funding opportunities and conditions are necessary in view of the large number of small companies.

Source: own illustration Oeko-Institut

The purchase decision is dominated by the reliability and proven track record of the vehicle models. Total cost of ownership (TCO) is cited as the second most important criterion. The TCO approach of market projections thus seems legitimate, provided that the practicality of the vehicles is given. In addition, risk aversion for novel vehicle models should be taken into account.

In all of the questions discussed with regard to political measures, it is clear that users have not yet been able to identify a clear political strategy with regard to the drive options under discussion. They lack planning certainty and the practical relevance of the concepts currently under discussion. In particular, there is a demand for infrastructure expansion and monetary support to make the switch to alternative drive systems feasible for companies.

In addition to the aspects described above Figure 1 provides an overview of the results of the survey and the focal points set. Based on the results, central challenges and recommendations for action are derived with a view to a switch to climate-friendly vehicle technologies, which are listed below.

Challenges for the introduction of alternative drive systems for heavy commercial vehicles with a view to the usage perspective

The heterogeneous structure of the logistics sector, with a large number of small and micro enterprises, as well as the discrepancy between previous experience with alternative fuels and drives - with a focus on natural gas and biofuels - and technology options currently discussed as promising alternatives, such as electric drives, make the necessary rapid technology change challenging.

→ Clear communication of the promising technology paths for climate protection that reaches the broad spectrum of user companies, as well as the opportunity for early technology testing, are probably necessary to gain the necessary confidence in the alternatives among users. In addition, targeted exchange formats offer the opportunity to spread the experience of pioneering companies.

The logistics industry expects alternative fuel and drive options to offer operational reliability and a similar range of applications as diesel trucks. However, none of the technology options discussed can fully guarantee this by 2030.

→ Testing alternative powertrain technologies in real-world applications is a critical factor in gaining confidence in a new technology and its operational reliability. A step-by-step electrification of the fields of application along the lines of technical feasibility should be accompanied by a close dialog with the users. Practicable visions from vehicle configuration and energy supply infrastructure can help to reduce reservations, even for challenging applications.

The acceptance of alternatively powered trucks in regular operation requires a reliable charging infrastructure covering the entire area. This applies in particular to demanding application profiles with often high mileages. However, the rapid development of this infrastructure is hampered on the one hand by the remaining uncertainty about the future technology mix and on the other hand by the lack of internationally coordinated technical standards and incompletely developed solutions for the respective energy supply infrastructures.

→ The development of a reliable expansion plan for the energy supply infrastructure is a key prerequisite for increasing the willingness of the logistics industry to invest in alternative drive technologies. The development of charging infrastructure in depots and at loading and unloading ramps as a no-regret measure for electric drives (battery, fuel cell and overhead catenary trucks) should be accompanied by a clear strategy for the development of public energy supply infrastructure specifically for heavy-duty commercial vehicles.

The procurement of alternatively powered trucks is associated with considerable investment risks for the logistics sector under the given framework conditions (until spring 2021) and in view of the lack of practical experience, which have only been addressed to a limited extent from the user perspective by the funding measures to date.

→ Support measures should take into account the investment risks for companies in terms of, among other things, the "directional certainty" of the technology path, the development of residual values and the depreciation period. Small companies in particular, which bear a particularly high investment risk and have few personnel capacities, should be granted low-threshold access to funding. Special maintenance, service and training offers from the manufacturing companies can promote the sale of new vehicle technologies.

A lack of a target picture, which has manifested itself in the past with regard to the decarbonization of road freight transport in an inconsistent picture of the regulatory environment and manufacturer strategies, among other things, and which continues to lack clarity for the future, makes it difficult for users to orient themselves and plan with certainty when evaluating drive options.

→ A technology roadmap that is as far-reaching as possible is necessary in order to create planning certainty and technological confidence among users. Likewise, technologies that will play no or a subordinate role in the future should be actively communicated. Support measures should be clearly aligned with the goal of climate neutrality in 2045.

1. Einleitung

1.1. Hintergrund

Auf dem Weg zur Klimaneutralität steht der Straßengüterverkehr vor tiefgreifenden Veränderungen und ein schneller Technologiewandel, weg vom heute dominierenden Diesel-Antrieb bei Nutzfahrzeugen, ist erforderlich (vgl. u.a. BDI 2021, Fraunhofer ISI 2021b, Prognos 2021). Im Jahr 2030 soll laut dem Klimaschutzprogramm der Bundesregierung ein Drittel der Fahrleistung im Straßengüterverkehr elektrisch oder auf Basis strombasierter Kraftstoffe erbracht werden (Bundesregierung 2019). Das in diesem Jahr novellierte Klimaschutzgesetz zielt in dieser Dekade auf eine Halbierung der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen gegenüber dem Referenzjahr 1990 bzw. in etwa dem derzeitigen Niveau (KSG 2021, UBA 2021). Aktuell sind verschiedene klimaschonende Technologieoptionen bei Nutzfahrzeugen in der Diskussion. Vielversprechende Technologiepfade, wie die direkte Stromnutzung bzw. der Einsatz von Wasserstoff konkretisieren sich dabei zunehmend (BMVI 2020, BMVI 2021). Während sich die Herstellerstrategien bezüglich der Technologiepräferenzen konkretisieren und einen schnellen Wandel nahelegen (vgl. u.a. ACEA 2020, Öko-Institut 2020a), liegen bisher kaum belastbare Informationen zu den Präferenzen, Vorerfahrungen und Vorbehalten der Anwender:innen vor. Die Praxistauglichkeit der Konzepte und Akzeptanz bei der Logistikbranche sind für deren Erfolg jedoch von großer Bedeutung und ein Verständnis der praktischen Anforderungen des Güterverkehrsmarktes ist für die Technologiewahl zentral.

In der Vergangenheit zielten Maßnahmen zum Klimaschutz im Straßengüterverkehr vornehmlich auf vermeintlich klimaschonende Alternativen zu fossilen Dieselmotoren. So wurden zeitweise Biokraftstoffe oder die Nutzung von Erdgas in Nutzfahrzeugen staatlich gefördert. Zwar erfordern diese Technologien keine oder nur geringe Anpassungen in der betrieblichen Praxis, ihr Beitrag zur Reduktion von Treibhausgasen ist allerdings stark limitiert (vgl. u.a. T&E 2021b, Öko-Institut 2020d). Ambitioniertere Zielstellungen für den Klimaschutz und technische Fortschritte bei Batteriesystemen rücken heutzutage Elektroantriebe auch für schwere Nutzfahrzeuge als vielversprechende Technologieoption in den Vordergrund. Die wesentlichen Vorteile sind die hohe Effizienz des Elektroantriebs sowie die Möglichkeit der vollständigen Dekarbonisierung über die Nutzung erneuerbaren Stroms. Knackpunkt der elektrischen Antriebstechnologien ist der Energiespeicher, der für derzeitige Fahrzeugmodelle von Batterie- und Brennstoffzellen-Lkw zu geringeren Reichweiten und zum Teil höheren Gesamtgewichten führt als bei etablierten Diesel-Lkw (vgl. u.a. Öko-Institut 2020a). Mögliche Anpassungsbedarfe der betrieblichen Abläufe, eine veränderte Energieversorgung und die fehlende Praxiserfahrung könnten sich bei den Anwenderinnen und Anwendern auf die Akzeptanz alternativer Fahrzeugtechnologien auswirken.

Auch die Struktur des Güterverkehrsmarktes ist für die Durchsetzbarkeit von Technologieinnovationen von erheblicher Bedeutung. Bei den Fuhrunternehmen gibt es große Unterschiede hinsichtlich der Investitionsbereitschaft in alternative Fahrzeugkonzepte. Der Logistikmarkt ist gekennzeichnet durch einen relevanten Anteil von Unternehmen mit einer geringen Anzahl von Fahrzeugen. Während es in manchen logistischen Teilmärkten länger laufende Verträge zwischen Verladern und Speditionen bzw. Frachtführern gibt, die Planungssicherheit ermöglichen, sind andere Teilmärkte durch kurze Vertragslaufzeiten, höhere Anforderungen an die Flexibilität und damit verbunden auch niedrigere Risikobereitschaften gekennzeichnet (Öko-Institut 2020a). Zudem haben durch die Digitalisierung die sogenannten Spotmärkte, d. h. der kurzfristige, einmalige Einkauf von Frachten, aber auch die Beauftragung von Unterauftragnehmern, stark an Bedeutung gewonnen.

Bisherige Studien zu den Marktpotenzialen von Antriebsalternativen bei Nutzfahrzeugen beruhen vorwiegend auf stark aggregierten Nutzungsprofilen (vgl. u.a. Öko-Institut 2020b, ifeu 2020, T&E 2021a, Roland Berger 2018). Diese bilden Einsatzrestriktionen entsprechend abstrahiert ab und bestimmen betriebswirtschaftlich sinnvolle Einsatzfelder auf Basis einfacher Gesamtkostenbetrachtungen. Die Akzeptanz von Einsatzrestriktionen, die unterschiedlichen Gegebenheiten der Fuhrparks und die damit verbundenen Auswirkungen auf Investitionsrisiken und Risikobereitschaft als auch Vorbehalte gegenüber Technologien und ihre Zuverlässigkeit können bislang nicht oder nur stark vereinfachend abgebildet werden. Hauptgrund ist der Mangel an empirisch fundierten Erhebungen bei den Anwendern und Anwenderinnen zu den betrieblichen Erfordernissen sowie der Akzeptanz und Präferenz von alternativen Fahrzeugtechnologien. Bislang liegen lediglich einzelne Veröffentlichungen zur Anwendungsperspektive für ausgewählte Fragestellungen vor, wie beispielsweise die Erhebung von Kluschke et al. (Fraunhofer ISI 2019).

Für eine fundierte Analyse der Marktpotenziale alternativ betriebener Nutzfahrzeuge und die Diskussion wichtiger Rahmenbedingungen ist es erforderlich, jenseits von Technologie- und Infrastrukturentwicklung die Perspektive der Anwender:innen und die vielfältigen Anwendungen differenzierter abzubilden.

1.2. Ziele und Einordnung

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen des Forschungs- und Dialogvorhabens „StratES: Strategie für die Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs“ eine standardisierte Befragung von Unternehmen des Logistik- und Transportmarktes durchgeführt. Das Vorhaben wird durch das Forschungsprogramm „Erneuerbar mobil“ des Bundesministeriums für „Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz“ (BMUV) gefördert. In der Befragung werden bisherige Erfahrungen mit und Präferenzen für alternative Antriebs- und Kraftstoffoptionen sowie die begleitenden politischen Fördermaßnahmen thematisiert. Als weiterer Schwerpunkt richten sich die Fragen an die allgemeinen Anforderungen an den Fahrzeugeinsatz und Merkmale der Kaufentscheidung. Adressiert wurden über die Verbände selbst die Mitglieder des „Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung e.V.“ (BGL) und des „Bundesverband Spedition und Logistik e.V.“ (DSLTV). Insgesamt haben 250 Unternehmen an der Online-Befragung teilgenommen. Die Ergebnisse der Befragung werden in der vorliegenden Studie vorgestellt.

Die Struktur des vorliegenden Ergebnisberichts orientiert sich an der Chronologie der Befragung:

- **Kapitel 2 beschreibt die Teilnehmendenstruktur der Befragungsstichprobe:** Als wesentliche Merkmale werden die Unternehmensart (z. B. Frachtführer, Spedition), die Unternehmensgrößen nach Beschäftigtenzahlen und die Fuhrparkgrößen unterschieden. Der Stellenwert von Subaufträgen wird über den Anteil an eigenen Fahrern und Fahrerinnen sowie Fahrzeugen zu denen im Auftrag bei Subunternehmen adressiert. Zudem werden die Geschäftstätigkeiten und Einsatzbereiche der befragten Unternehmen dargestellt. Ein Abgleich mit Branchendaten zeigt, wie repräsentativ die Stichprobe dieser Befragung für den Transportmarkt in Deutschland ist.
- **Kapitel 3 adressiert Erfahrungen mit und Präferenzen von alternativen Antriebs- und Kraftstoffkonzepten.** Im Fokus stehen dabei Technologieoptionen, die in der Vergangenheit und aktuell als klimaschonende Alternativen zu konventionellen Diesel-Nutzfahrzeugen diskutiert werden: Biokraftstoffe, Erdgas-Lkw (LNG/CNG), E-Fuels, Batterieelektrische Lkw, E-Hybrid-Lkw, Oberleitungs-Lkw, Brennstoffzellen-Lkw und Lkw mit Wasserstoffmotor. Neben den Erfahrungen und grundsätzlichen Interessen der Befragungsteilnehmenden, werden auch ihre Einschätzungen zu den Stellenwerten der einzelnen Technologien für den Transportmarkt im Jahr

2030 dargestellt. Aufschluss über die Relevanz verschiedener Kriterien für einen Umstieg auf klimaschonende Fahrzeugtechnologien gibt eine Priorisierung vorformulierter Aussagen durch die befragten Unternehmen.

- **Kapitel 4.1 analysiert Anforderungen der Transportunternehmen an den Fahrzeugbetrieb.** Die Fragen beziehen sich auf aktuelle Einsatzmuster mit konventionellen Fahrzeugen, die erfragten Merkmale zielen jedoch auf Herausforderungen für die Praxisintegration von elektrischen Nutzfahrzeugen, wie Reichweitenanforderungen oder typische Standzeiten. Dabei werden auch charakteristische Unterschiede in den Haupteinsatzprofilen der Unternehmen diskutiert.
- **Kapitel 4.2 zielt auf relevante Merkmale der Kaufentscheidung.** Für ein besseres Verständnis der Kaufentscheidung - auch mit Blick auf TCO-gestützte Marktprojektionen - werden Merkmale der Kaufentscheidung thematisiert, die zusätzlich zu den Gesamtkosten entscheidend sind. Zudem werden bilanzielle Kenngrößen wie kalkulatorische Nutzungsdauern und die Restwertermittlung konkretisiert.
- **Kapitel 4.3 benennt Anforderungen an die Politik und das Marktumfeld** anhand einer Einordnung der Zufriedenheit der Transportunternehmen mit bisherigen politischen Hilfestellungen und dem Wunsch nach zukünftigen Maßnahmen. Neben staatlichen monetären Anreizen werden über Fragen zum Fahrzeug- und Infrastrukturangebot auch Anforderungen an das Marktumfeld adressiert.
- **Kapitel 5 gibt einen Überblick über die zentralen Herausforderungen**, welche sich aus der Analyse der Erhebung an einen Umstieg auf alternative Fahrzeugtechnologien ergeben. Zudem werden konkrete Handlungsempfehlungen für die Politik und das Marktumfeld abgeleitet.

1.3. Methodik

Im Frühjahr 2021 wurde eine standardisierte Online-Befragung von Unternehmen des Transport- und Logistikmarktes durchgeführt. Dabei wurden über die Verbände selbst die Mitgliedsunternehmen des „Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung e.V.“ (BGL) und des „Bundesverband Spedition und Logistik e.V.“ (DSLVL) adressiert. Insgesamt haben 250 Unternehmen an der Befragung teilgenommen. Die übergeordnete Fragestellung der Erhebung lautet: „Welche Anforderungen an die Politik und das Marktumfeld stellt die Transport- und Logistikbranche an einen Umstieg auf klimaschonende Fahrzeugtechnologien?“

Die Rekrutierung über die Verbände ermöglicht einen vereinfachten Zugang zu einem breiten Akteurskreis. Von den laut HBS 2018 etwa 35.000 Unternehmen in den Wirtschaftszweigen „Güterbeförderung im Straßenverkehr“ und „Spedition“ sind rund 8.000 Unternehmen im BGL und rund 3.000 Unternehmen im DSLVL organisiert. Somit kann über die Dachverbände von BGL und DSLVL ein charakteristischer Querschnitt des Straßengüterverkehrsmarktes erreicht werden. Weitere Informationen über die Repräsentativität der Stichprobe wird anhand von strukturellen Merkmalen der Unternehmen in Kapitel 2 diskutiert.

Die Einladung zur Online-Befragung wurde ab dem 08.03.2021 an die Mitgliedsunternehmen von BGL und DSLVL digital versandt. Nach zwei Erinnerungsintervallen im Abstand von 2 bis 4 Wochen, wurde die Befragung am 28.05.2021 beendet. Insgesamt haben 1.215 Personen die Online-Befragung aufgerufen, was auf die Relevanz des Themas hinweist. Bereits in dem einleitenden Text wurde auf den Umfang der Befragung von 45 min hingewiesen. Vermutlich hat der zeitliche Aufwand viele Unternehmen von einer Teilnahme abgeschreckt. In Zukunft könnten sich mehrere Fokus-Befragungen als zielführender erweisen. In Summe haben 250 Personen den Fragebogen zumindest in Teilen ausgefüllt, von 102 Unternehmen liegen vollständige Antworten vor.

Die Inhalte der Befragung beruhen auf Voranalysen in den Projekten StratON und StratES zur Marktreife und Potenzialen alternativer Fahrzeugtechnologien im Straßengüterverkehr sowie qualitativen Untersuchungen von Nutzungsanforderungen (Öko-Institut 2020a, Öko-Institut 2020b). Grundlage der Konzeption des Fragebogens bilden zudem Interviews und Workshops mit Experten und Expertinnen der Branche. Neben den Verbänden BGL und DSLV hat auch der Beirat des Projektes StratES an der Erarbeitung der Fragen mitgewirkt. Der Beirat setzt sich zusammen aus Vertreterinnen und Vertretern der Logistik- und Speditionsbranche, der herstellenden und energiever sorgenden Unternehmen sowie aus politischen Entscheidungsträgern und -trägerinnen sowie wissenschaftlichen Expertinnen und Experten. Die technische Umsetzung der Online-Befragung erfolgte durch die aproxima GmbH.

Insgesamt ist ein Fragebogen mit 36 Fragen entwickelt worden, der sich in vier Themenbereiche untergliedert:

1. Strukturelle Merkmale der Unternehmen (5 Fragen)
2. Interesse an alternativen Kraftstoff- und Antriebskonzepten (7 Fragen)
3. Fuhrparkstruktur und Einsatzprofile (11 Fragen)
4. Fuhrparkfinanzierung, Kostenrechnung und Kaufentscheidung (13 Fragen)

Die Befragung ist umfangreich angelegt und setzt sich aus geschlossenen Fragen mit Einfach- und Mehrfachantwortoption, numerischen Eingabefeldern und offenen Freitextfeldern zusammen. Insbesondere der dritte Themenbereich „Fuhrparkeinsatz und Einsatzprofile“ wirkt durch die teils detailliert geforderten Angaben in einzelnen Einsatzprofilen auf Unternehmen abschreckend und führte zu Abbrüchen. Für eine bessere Transparenz werden in diesem Bericht in den Abbildungen zusätzlich zu den Bildüberschriften die Originalfragen aufgeführt. Auf eine Aufführung des gesamten Fragebogens im Anhang wird daher verzichtet. Wichtig ist weiterhin anzumerken, dass die Befragten gebeten wurden, sich aufgrund der COVID-19-Pandemie in ihren Angaben auf das Geschäftsjahr 2019 zu beziehen.

Nicht vollständig ausgefüllte Rückmeldungen von teilnehmenden Unternehmen wurden ebenfalls in den Auswertungen berücksichtigt, um Auswertungsuntergrenzen bei einzelnen Fragestellungen einhalten und so statistisch signifikante Aussagen treffen zu können. Folglich variiert die Stichprobengröße je nach Fragestellung. Für eine bessere Übersichtlichkeit und Transparenz wird in den nachfolgenden Abschnitten und Abbildungen jeweils auf die verwendete Stichprobengröße „n“ hingewiesen sowie weitere Informationen zu den spezifischen Auswertungen einzelner Fragestellungen angegeben. Generell wurden alle Antworten von Unternehmen als gültig gewertet, die über das gesamte Antwortspektrum sinnvolle und in sich konsistente Antworten gegeben haben. Bei einigen numerischen Angaben wurden beispielsweise Validitätsgrenzen definiert, so erscheint z. B. eine typische Tagesfahrleistung von unter 50 km und über 2.000 km unplausibel. Diese vereinzelt Ausreißer mit sehr hohen oder sehr niedrigen Werten haben einen erheblichen Einfluss auf den Durchschnitt der Stichprobe. In diesen Fällen wurde die entsprechende einzelne Antwort eines Unternehmens nicht gewertet, die übrigen Antworten aber als gültig erklärt. Traten über den gesamten Datensatz widersprüchliche oder unsinnige Antworten auf, wurden alle Antworten des betreffenden Unternehmens als ungültig gewertet. Dies trat in Summe bei nur sieben Antwortsätzen auf.

2. Teilnehmendenstruktur

2.1. Unternehmensstrukturen

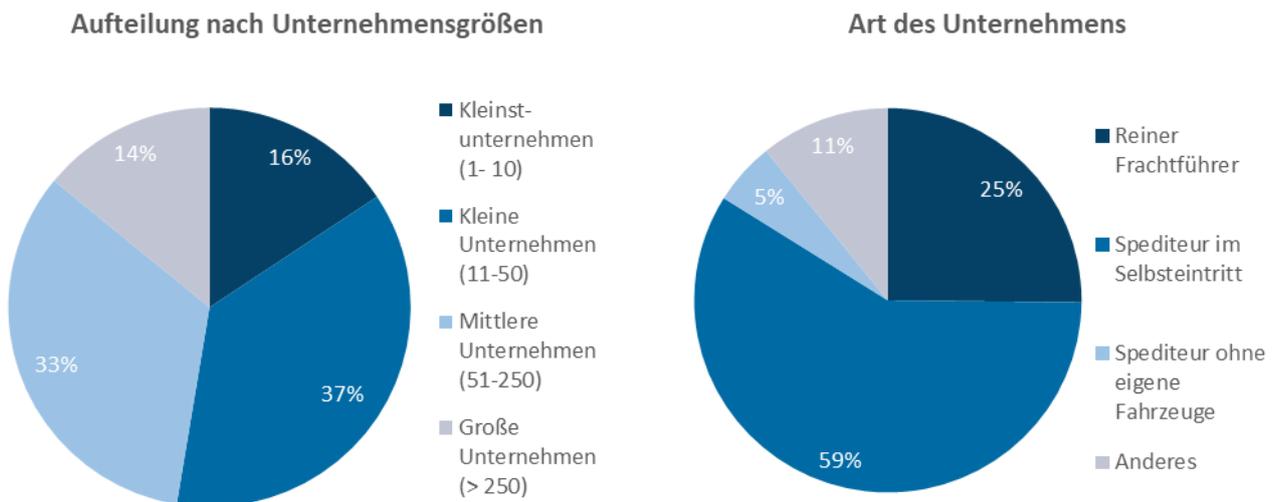
Um die Anforderungen der Logistikbranche an einen Umstieg auf klimaschonende Fahrzeugtechnologien anhand der durchgeführten Befragung einordnen zu können, wird zunächst die Stichprobenstruktur der an der Erhebung teilgenommenen Unternehmen untersucht. Dabei orientiert sich die Analyse an den drei Kategorien (1) Unternehmensstrukturen, (2) Fuhrpark und (3) Geschäftstätigkeiten.

Als Teil der Unternehmensstruktur wurden die Unternehmen zunächst nach deren Unternehmensgröße bezogen auf die Gesamtzahl der Beschäftigten, der Unternehmensart nach Tätigkeitsschwerpunkten und der Anzahl der eingesetzten Fahrer:innen befragt. Ein Vergleich mit verfügbaren Branchendaten soll darüber hinaus einen Eindruck vermitteln, wie repräsentativ die Teilnehmendenstruktur der Befragungsstichprobe die Transport- und Logistikbranche widerspiegelt.

Die Stichprobe für die einleitenden Fragen beläuft sich auf 250 Unternehmen. Die Verteilung der Befragungsteilnehmenden nach der Unternehmensgröße sowie der Art des Unternehmens wird in Abbildung 2-1 gezeigt. Die Befragung ist deutlich von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) des Transportmarktes geprägt. Rund 16 % der befragten Unternehmen gelten laut KMU-Definition der EU-Kommission als Kleinstunternehmen mit Beschäftigtenzahlen bis zu zehn Mitarbeitenden. Über die Hälfte der teilnehmenden Unternehmen beschäftigen weniger als 50 Mitarbeitende. Gemeinsam mit der mittleren Unternehmensgröße mit bis zu 250 Beschäftigten ergibt sich ein Anteil von über 85 %.

Abbildung 2-1: Unternehmensart und -größen der Befragungsteilnehmenden (n = 250)

Originalfragen: Wie viele Beschäftigte sind in Ihrem Unternehmen tätig? | Welche Charakterisierung trifft am ehesten auf Ihr Unternehmen zu?



Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Art der Unternehmen wird in der Befragung zwischen „reiner Frachtführer“, „Spediteur im Selbsteintritt“, „Spediteur ohne eigene Fahrzeuge“ und „Anderes“ (z. B. Entsorgung) unterschieden. Bei reinen Frachtführern handelt es sich um Logistikdienstleister mit eigenen Fahrzeugen, die Transportaufträge durchführen, während Spediteure das Versenden von Waren und alle zugehörigen Dienstleistungen organisieren. Spediteure im Selbsteintritt bieten logistische Dienstleistungen an und führen Transporte mit eigenen Fahrzeugen durch. Zu dieser Kategorie gruppiert sich der überwiegende Anteil der befragten Unternehmen. Rund ein Viertel der Befragten bezeichnet sich als reine Frachtführer. Nur ein geringer Anteil bietet logistische Dienstleistungen ohne eigenen Fuhrpark an. Die Hauptadressaten dieser Befragung, die vornehmlich auf Fragen zum eigenen Fuhrpark zielt, sind also zu einem hohen Anteil in der Stichprobe enthalten.

Tendenziell sind reine Frachtführer und Spediteure im Selbsteintritt im Transportmarkt überwiegend kleine und mittlere Unternehmen; Spediteure, die über keine eigenen Fahrzeuge verfügen, sind hingegen oft große Unternehmen, die als Systemdienstleister (bspw. Fourth Party Logistics Provider, Lead Logistics Provider) logistische Abläufe von Kunden koordinieren (KPMG 2014). Dies zeigt sich auch in dieser Erhebung: Von den befragten Unternehmen sind 77 % der reinen Frachtführer Kleinst- oder Kleinunternehmen mit Beschäftigtenzahlen bis 50 Mitarbeitenden. Von den Spediteuren im Selbsteintritt gehören lediglich 43 % zu dieser Gruppe der Kleinst- und Kleinunternehmen und von den Spediteuren ohne eigene Fahrzeugen nur 25 %.

Zusammenfassend sind in der Stichprobe überwiegend kleine und mittlere Unternehmen mit eigenem Fuhrpark enthalten, die als reine Frachtführer oder Spediteure im Selbsteintritt agieren. Für eine Einschätzung darüber, wie repräsentativ die Befragung die Transportbranche widerspiegelt, werden die Unternehmensgrößen bzw. Beschäftigtenzahlen mit öffentlich verfügbaren Branchendaten verglichen. Die beiden großen deutschen Logistikverbände BGL und DSLV haben im Jahr 2020 bzw. 2015 jeweils eine Erhebung und Unterteilung der Mitgliedsunternehmen vorgenommen. Unter der Annahme, dass sich die Branchenstruktur hinsichtlich der Unternehmensgrößen in den letzten Jahren nicht grundlegend verändert hat, stellt Tabelle 2-1 die Daten der Verbände mit den Unternehmensgrößen der vorliegenden Befragung gegenüber, wobei die Daten von BGL und DSLV abweichende Gruppierung der Beschäftigtenzahlen aufweisen. Zudem werden Branchendaten für den Gesamtmarkt aufgeführt.

Tabelle 2-1: Vergleich der Unternehmensgrößen in der Logistikbranche (n = 250)

Originalfrage: Wie viele Beschäftigte sind in Ihrem Unternehmen tätig?

Beschäftigte pro Betrieb	StratES (2021)	DSLVL (2015)	BGL (2020)*	HBS (2018)*	BAG (2021)*
1 bis 10	16 %	17 %	95 %	72 %	64 %
11 bis 50	37 %	36 %		24 %	31 %
51 bis 100	19 %	20 %	5 %	4 %	5 %
101 bis 200	11 %	13 %			
Über 200	17 %	14 %			
Gesamt	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

* Abweichende Intervallgrenzen: 1 bis 9, 10 bis 49, etc.

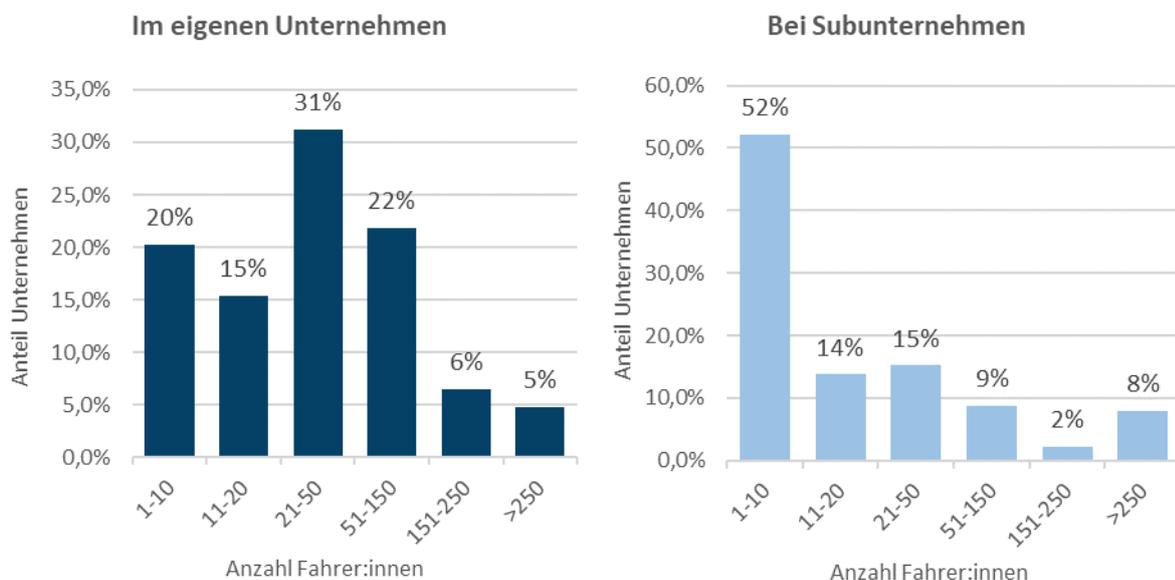
Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von DSLVL 2015, BGL 2021, HBS 2018 und BAG 2021

Es wird deutlich, dass die Verteilung der Unternehmensgrößen aus der vorliegenden Befragung eine hohe Übereinstimmung mit denen des DSLV aufweist, jedoch deutliche Unterschiede zu den Daten der BGL Brancheninfo und den Branchenzahlen des Gesamtmarktes bestehen. Wie in Abbildung 2-1 dargestellt handelt es sich bei knapp zwei Drittel der Befragungsteilnehmenden um Spediteure mit oder ohne eigenem Fuhrpark. Da diese Unternehmen vermutlich überwiegend beim DSLV organisiert sind, lässt sich die hohe Übereinstimmung der Unternehmensgrößen erklären. Die Vielzahl an kleinen, oft inhabergeführten Frachtführern hingegen, die einen Großteil der Anzahl an Mitgliedsunternehmen im BGL ausmachen, scheinen weniger häufig an der Befragung teilgenommen zu haben. Ein möglicher Grund hierfür ist, dass für kleine Unternehmen mit wenigen Beschäftigten Aufgaben jenseits des Kerngeschäfts eine besondere Hürde darstellen. Die große Gruppe der als Kleinst- und Kleinunternehmen organisierten Frachtführer ist mit ihren speziellen Anforderungen an einen Umstieg auf klimaschonende Fahrzeugtechnologien in der Stichprobe dieser Befragung folglich unterrepräsentiert.

Vor diesem Hintergrund spielt die Relevanz von Subaufträgen durch die befragten Unternehmen eine interessante Rolle, da diese häufig durch reine Frachtführer ausgeführt werden. Subunternehmer werden in der Logistikbranche von Spediteuren und anderen Transportunternehmen immer häufiger für die Durchführung von Transportaufträgen eingesetzt. So ging der Anteil von Betrieben, die eigene Fahrzeuge einsetzen, in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich zurück (DSLAV 2015). Hinsichtlich einer Umstellung auf klimaneutrale Transporte werden auch die Fragestellungen, Herausforderungen und letztendlich die Verantwortung eines Einsatzes von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben an die ausführenden Unternehmen outsourct. In Abbildung 2-2 wird die Verteilung der Anzahl eigener Fahrer:innen der befragten Unternehmen im Jahresdurchschnitt 2019 mit denen der Fahrer:innen von Subunternehmern verglichen, die bei den Unternehmen im selben Jahr durchschnittlich beschäftigt waren.

Abbildung 2-2: Anzahl von Fahrern und Fahrerinnen in eigener Anstellung und bei Subunternehmern (n = 250)

Originalfragen: Wie viele Fahrer beschäftigten Sie (ohne Subunternehmer) im Jahresdurchschnitt? Wie viele Fahrer waren 2019 im Jahresdurchschnitt bei Subunternehmern für Sie unterwegs?



Quelle: Eigene Darstellung

Bei den Teilnehmenden der Befragung beschäftigen etwa 8 von 10 Unternehmen mehr als 10 eigene Fahrer:innen, während über die Hälfte der befragten Unternehmen maximal 10 Fahrer:innen bei Subunternehmen einsetzt. In Summe werden von den Unternehmen in der Befragungsstichprobe also mehr eigene Fahrer:innen als jene bei Subunternehmen eingesetzt.

Signifikante Unterschiede sind für die Unternehmensarten erkennbar: Bei reinen Frachtführern steigt die Anzahl der angestellten Fahrer:innen proportional mit der Anzahl der Beschäftigten, während Subunternehmer nur im sehr geringen Umfang beauftragt werden. Die Spediteure im Selbsteintritt, welche die Mehrheit der Stichprobe repräsentieren, beschäftigen insgesamt mehr eigene Fahrer:innen, beauftragen mit zunehmenden Beschäftigtenzahlen allerdings tendenziell auch zunehmend Fahrer:innen bei Subunternehmen. Auch die wenigen Spediteure ohne eigene Fahrzeuge in der Stichprobe beschäftigen zum Teil eigene Fahrer:innen, beauftragen aber überwiegend Fahrer:innen bei Subunternehmen.

2.2. Fuhrpark

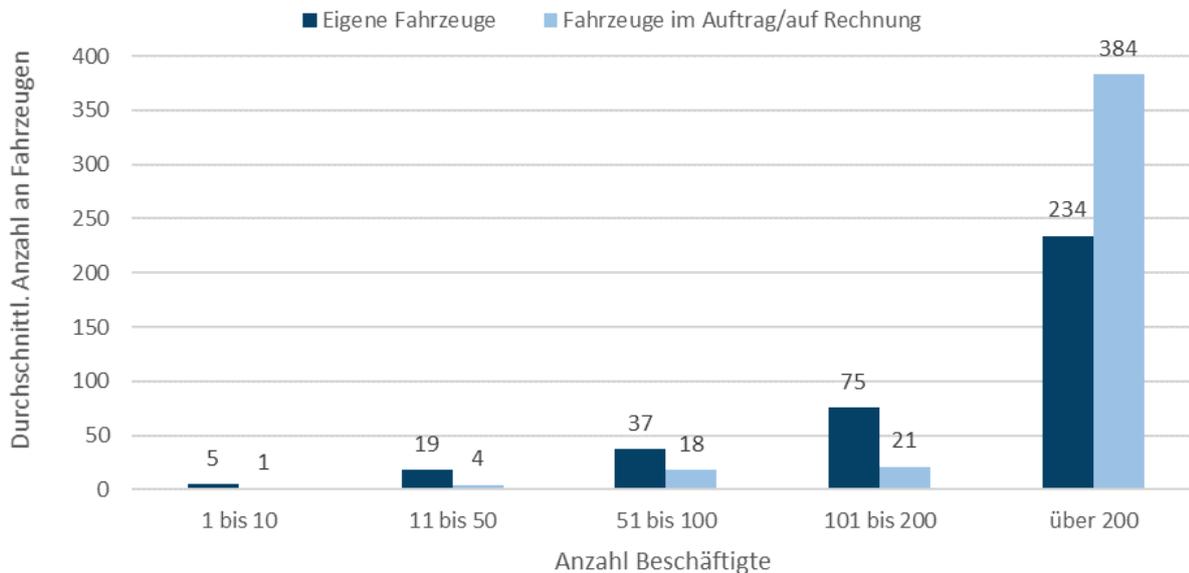
Der Fuhrpark wird in den einleitenden Fragen der Erhebung hinsichtlich der Gesamtgröße und im späteren Verlauf der Befragung detailliert nach Größenklassen (vgl. auch Abschnitt 4.1) erfragt. Die Anzahl an Fahrzeugen im eigenen Fuhrpark und bei Subunternehmen korreliert mit der Anzahl an Fahrern und Fahrerinnen in Abbildung 2-2. Während sich die Größe des eigenen Fuhrparks der an der Befragung teilgenommenen Logistikunternehmen relativ ausgewogen in einem Bereich zwischen einem und 150 Fahrzeugen pro Unternehmen befindet, sind bei annähernd der Hälfte aller Unternehmen höchstens zehn Fahrzeuge beauftragter Subunternehmen im Einsatz. Es zeigt sich damit erneut, dass die Beauftragung von Subunternehmen zumindest für die befragten Unternehmen eine untergeordnete Rolle spielt.

Im Zusammenhang mit den Unternehmensgrößen wird allerdings die Relevanz von Subaufträgen insbesondere für große Unternehmen deutlich. Abbildung 2-3 zeigt das Verhältnis der Anzahl eigener Fahrzeuge gegenüber im Auftrag und auf Rechnung eingesetzter Fremdfahrzeuge und dies jeweils in Abhängigkeit der Beschäftigtenzahlen. Logistikunternehmen mit einer Größe zwischen einem und zehn Beschäftigten betreiben durchschnittlich fünf eigene Fahrzeuge. Gleichzeitig ist neben dem Eigenfuhrpark ein weiteres Fahrzeug in Auftrag oder auf Rechnung für das Unternehmen tätig. Dieses Verhältnis von 5:1 verschiebt sich zugunsten eingesetzter Fremdfahrzeuge, je größer das Unternehmen ist. Bei Logistikdienstleistern zwischen 51 und 100 Beschäftigten treffen auf 37 selbstbetriebene Fahrzeuge bereits 18 Fahrzeuge von Subunternehmen, was einem Verhältnis von annähernd 2:1 entspricht. Bei großen Logistikunternehmen mit einer Mitarbeitendenzahl über 200 kehrt sich das Verhältnis sogar um und es werden im Durchschnitt beinahe doppelt so viele Fremdfahrzeuge wie Eigenfahrzeuge eingesetzt. Zu berücksichtigen ist hierbei der starke Einfluss der großen Unternehmen mit über 1.000 Beschäftigten, die fast ausschließlich Subunternehmen einsetzen und einen großen Anteil der insgesamt eingesetzten Fahrzeuge ausmachen. Lässt man diese Unternehmen in der Betrachtung außen vor, würde die durchschnittliche Anzahl an Eigenfahrzeugen gegenüber den eingesetzten Fahrzeugen von Subunternehmen noch deutlicher überwiegen.

Die Fuhrparks der befragten Unternehmen setzen sich überwiegend aus Sattelzugmaschinen und im geringeren Umfang aus Lkw über 16 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht zusammen. Die quantitative Verteilung und eine Einordnung zum bundesweiten Bestand an Nutzfahrzeugen werden in Abschnitt 4.1 ausführlich beschrieben.

Abbildung 2-3: Durchschnittliche Anzahl von eigenen Fahrzeugen und Fahrzeugen im Auftrag und auf Rechnung pro Unternehmen (n = 234)

Originalfrage: Wie groß war Ihr Lkw-Fuhrpark im Jahresdurchschnitt 2019 (nur selbst betriebene Fahrzeuge)? Wie viele Fahrzeuge waren 2019 im Jahresdurchschnitt in Ihrem Auftrag und auf Ihre Rechnung bei Subunternehmen unterwegs?



Quelle: Eigene Darstellung

Die Auswertung zeigt erneut, dass in der Stichprobe überwiegend Logistikunternehmen vertreten sind, die zum einen keine ausschließlichen Frachtführer sind (also nur im Auftrag Anderer tätig sind). Zum anderen besteht die überwiegende Anzahl an Unternehmen auch nicht aus überregional agierenden Speditionen, die ausschließlich Subunternehmer beschäftigen und über keine eigenen Fahrzeuge verfügen. Den Großteil machen Speditionen des Mittelstands mit mittelgroßen Eigenfuhrparks aus, die ebenfalls Subunternehmen einsetzen, jedoch durchschnittlich eher als Unterstützung zu den eigenen Fahrzeugen. Für die Klimaschutzziele des Straßengüterverkehrs ist dies insofern relevant, als dass ein hoher Anteil von Unternehmen mit wenigen Fahrzeugen ein mögliches Hemmnis für den Umstieg auf alternative Antriebstechnologien darstellen könnte. Gerade in der Übergangsphase ist es hilfreich, wenn mögliche Einschränkungen bei Fahrzeugen mit alternativen Antrieben vom Fuhrpark abgedeckt werden können. Bei kleineren Fuhrparkgrößen ist dies weniger gut möglich. Größere Unternehmen sollten bei der Einführung daher eine Vorreiter-Rolle einnehmen. Ebenfalls ist die Einflussnahme auf einen Einsatz selbstbetriebener Fahrzeuge bedeutend höher als es bei Fahrzeugen möglich ist, die im Auftrag von Subunternehmen eingesetzt werden.

2.3. Geschäftstätigkeiten

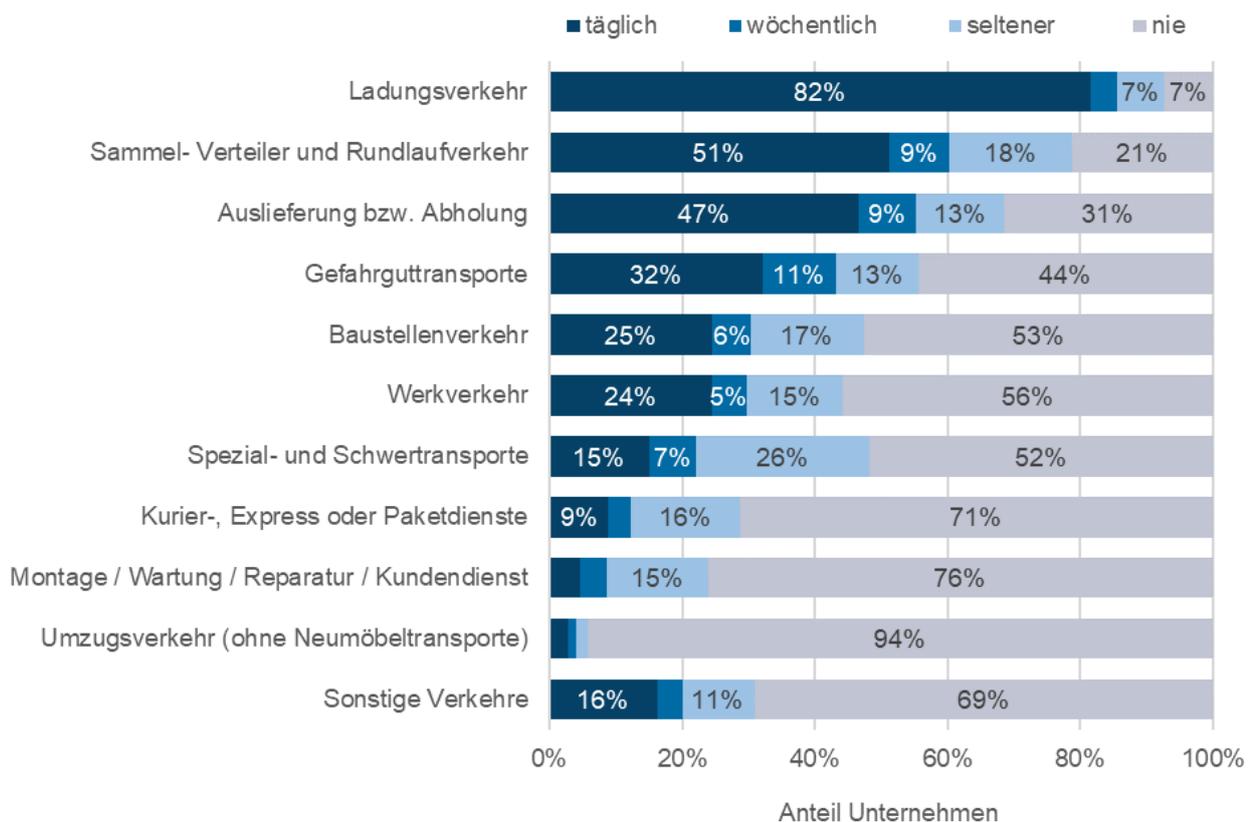
Die Geschäftstätigkeiten werden in der Befragung nicht ausschließlich nach transportierten Gütergruppen oder Wirtschaftszweigen unterschieden, sondern nach der Einsatzart der Fahrzeuge, also der sogenannten Einsatzprofile. Diese Einsatzprofile stellen eine Verknüpfung aus fahrzeugbezogenen Merkmalen (u.a. Aufbauform und Nutzlast) und logistischen Merkmalen (u.a. Transportentfernungen, Ladungsstruktur, Eilbedürftigkeit) dar. In enger Abstimmung mit BGL und DSLV wurde sich bei der Aufstellung der Einsatzprofile zu großen Teilen auch an der Definition von Einsatzarten des

Straßengüterverkehrs orientiert, wie es die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) in der Fahrleistungserhebung vorgenommen hat (BASt 2015). Dadurch ist ein weiterer Vergleich der Teilnehmendenstruktur der Befragung mit offizieller Statistik des deutschen Straßengüterverkehrs möglich.

Die befragten Unternehmen werden gebeten anzugeben, wie häufig sie die vordefinierten Einsatzprofile bedienen. Die Häufigkeitsverteilungen der Antworten sind in Abbildung 2-5 dargestellt. Am häufigsten wird von den Unternehmen das Segment Ladungsverkehre bedient: ca. 82 % der Unternehmen bedienen täglich und 4 % der Unternehmen wöchentlich Ladungsverkehre. Zudem bieten rund 50 % der Unternehmen täglich Sammel-, Verteiler- und Rundlaufverkehre an. Die Mehrheit transportiert zudem täglich oder wöchentlich Auslieferungen bzw. Abholungen. Über 20 % der befragten Unternehmen bewerkstelligen zumindest wöchentlich Gefahrguttransporte, Baustellenverkehre, Werkverkehre sowie Spezial- und Schwertransporte. Selten werden in der Stichprobe Kurier-, Express- oder Paketdienste (KEP) angeboten sowie Fahrten zu Zwecken von Montage, Handwerk, Reparatur oder ähnlichen Kundendiensten und Umzugsverkehre. Ein Grund für den geringen Anteil an KEP-Verkehren ist, dass KEP-Dienstleister hauptsächlich beim Bundesverband Paket und Expresslogistik e.V organisiert und weniger unter den adressierten Mitgliedern des BGL und DSLV vertreten sind. Die Befragung bildet also eher das klassische Speditionsgeschäft ab.

Abbildung 2-4: Häufigkeit der Bedienung unterschiedlicher Einsatzprofile (n = 165)

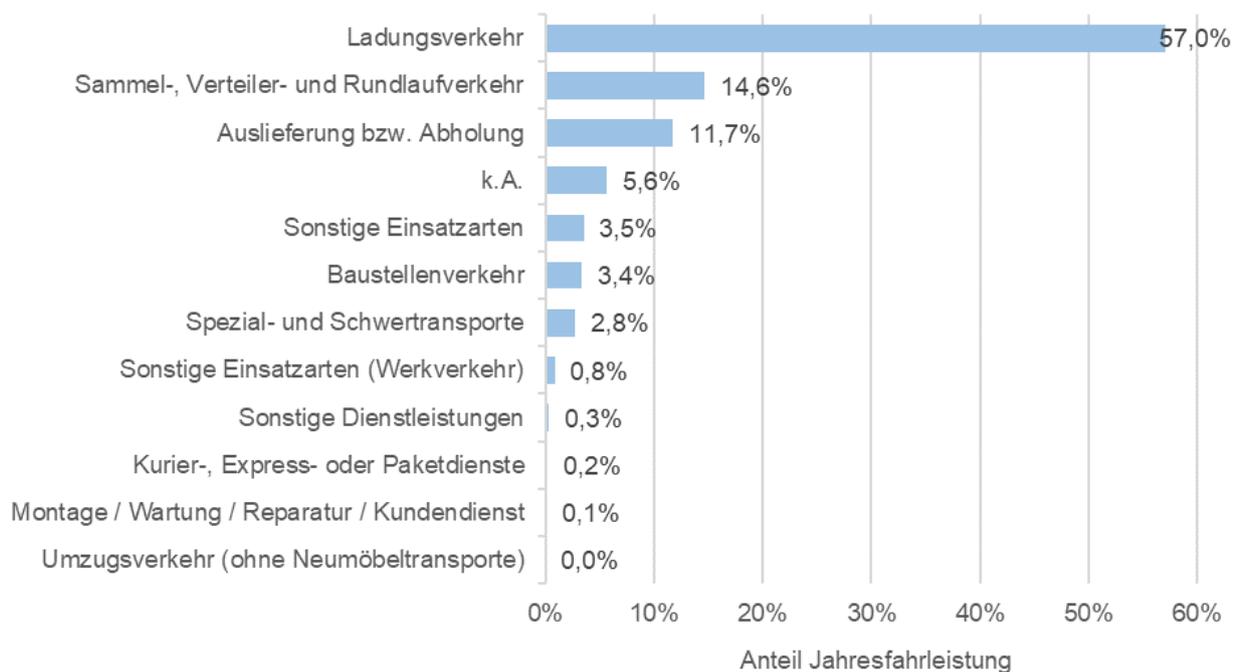
Originalfrage: Wie häufig bedienen Sie die nachfolgenden Einsatzprofile?



Quelle: Eigene Darstellung

Zur Einordnung der erhobenen Häufigkeitsverteilung der Einsatzprofile zeigt Abbildung 2-5 die mittleren Fahrleistungen aus der Fahrleistungserhebung 2014 für Sattelzugmaschinen der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt 2015). Auch hier dominieren die Ladungsverkehre, gefolgt von den Sammel-, Verteiler- und Rundlaufverkehren sowie Auslieferungen bzw. Abholungen. Gefahrguttransporte hingegen werden in der Fahrleistungserhebung nicht explizit ausgewiesen. Es wird vermutet, dass diese in der Kategorie Sonstige Einsatzarten eingegliedert sind. Auch wenn ein direkter Vergleich nicht möglich ist, scheinen die Häufigkeiten der Einsatzprofile in der vorliegenden Befragung die Fahrleistungsverteilung gut widerzuspiegeln.

Abbildung 2-5: Überwiegende Einsatzarten nach Fahrleistungserhebung 2014 der BASt

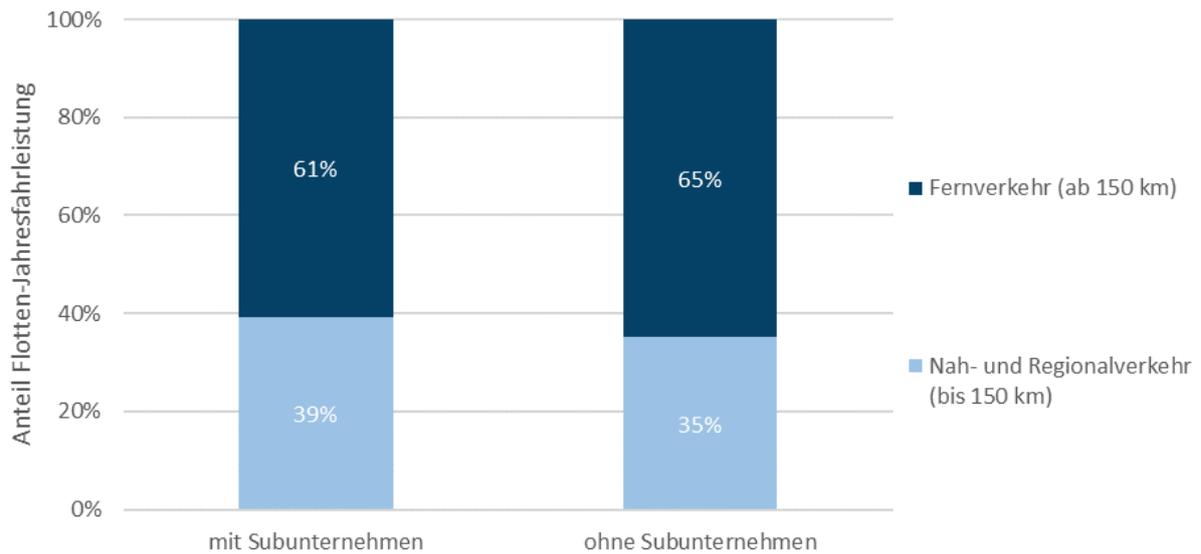


Quelle: BASt 2015

Schließlich werden die durchgeführten Transporte der befragten Unternehmen auch nach Entfernungsbereichen unterschieden. Hierbei wird eine Einteilung in Nah- und Regionalverkehr (unter 150 km) und Fernverkehr (über 150 km) angewendet. Die Aufteilung der Gesamtflottenfahrleistung der befragten Unternehmen in diese beiden Kategorien wird in Abbildung 2-6 dargestellt. Die Entfernungsbereiche, in denen die befragten Unternehmen aktiv sind, entsprechen in etwa der Verteilung im deutschen Straßengüterverkehr: etwa ein Drittel der Fahrleistung wird im Nah- und Regionalverkehr bis 150 km Entfernung erbracht, während der Großteil auf Strecken im Fernverkehr zurückgelegt wird (KBA 2020).

Abbildung 2-6: Aufteilung der Gesamtflottenfahrleistung nach Nah-/Regional- und Fernverkehr (n = 91)

Originalfrage: Bitte gliedern Sie für Ihre drei wichtigsten Einsatzprofile die Flotten-Jahresfahrleistung Ihres Unternehmens nach Entfernungsbereichen auf!



Quelle: Eigene Darstellung

Insgesamt scheint also die typische Fahrleistungsverteilung des deutschen Transportmarktes durch die Unternehmen der Befragungsstichprobe gut wiedergegeben zu werden. Sowohl die Häufigkeit von Einsatzprofilen mit einem Schwerpunkt auf Ladungsverkehren als auch die Verteilung auf Nah-, Regional und Fernverkehre mit einem Schwerpunkt auf Fernverkehre weist zwischen der Stichprobe und verfügbaren Daten für den Gesamtmarkt große Gemeinsamkeiten auf. Allerdings stellen die Vergleiche lediglich ein Indiz dafür dar, dass die Stichprobe der Befragung repräsentativ und charakteristisch für die Einsatzmuster des Transportmarktes ist. Für zuverlässigere Aussagen fehlen vergleichbare empirische Daten.

3. Interesse an alternativen Antrieben und Kraftstoffarten

In diesem Kapitel wird die Einstellung der befragten Transport- und Logistikunternehmen zu alternativen Antrieben und Kraftstoffarten diskutiert. „Alternativ“ meint in diesem Kontext eine Alternative zum bislang standardmäßig eingesetzten Dieselmotor, der mit Dieselmotorkraftstoff (vorwiegend) fossilen Ursprungs betrieben wird. Es wird – ohne Anspruch auf Vollständigkeit - eine Vielzahl an Technologien adressiert, die verschiedene technische Reifegrade aufweisen und mit unterschiedlichen Potenzialen zur vollständigen Dekarbonisierung einhergehen. Eine kurze Übersicht bietet die nachfolgende Infobox.

Infobox zu alternativen Kraftstoff- und Antriebskonzepten

Biokraftstoffe können bis zu 7 Vol.-% Dieselmotorkraftstoffen beigemischt werden. Die Gewinnung erfolgt bislang überwiegend aus Energiepflanzen, deren Anbau in Konkurrenz zur globalen Nahrungsmittelproduktion steht und das Risiko von Waldrodungen birgt. Infolgedessen wurden strengere Nachhaltigkeitskriterien in der Erneuerbare-Energien-Richtlinie festgelegt und die politische Förderung auf organische Reststoffe fokussiert. Das Potenzial ist stark limitiert.

Flüssigerdgas-Lkw (LNG): Seit einigen Jahren wird fossiles Erdgas in angepassten Verbrennungsmotoren genutzt. LNG (Liquified Natural Gas) ist verflüssigt, um höhere Energiemengen im Fahrzeugtank speichern zu können. Die CO₂-Einsparung im Betrieb ist gering und wird durch klimawirksame Emissionen in den Vorketten der Betankung kompensiert. Wird synthetisches Methan oder Biogas verwendet ist eine klimaneutrale Nutzung möglich.

Erdgas-Lkw (CNG): Seltener als verflüssigtes wird komprimiertes Erdgas (Compressed Natural Gas) in Verbrennungsmotoren von Nutzfahrzeugen verwendet. Die Reichweite ist geringer als bei LNG-Lkw. Die CO₂-Emissionen und Möglichkeit der Nutzung klimaneutraler Kraftstoffe entspricht den Aussagen zu LNG-Lkw.

E-Fuels: Diesel kann synthetisch aus einer Kohlenstoffquelle und Wasserstoff auf Basis von erneuerbarem Strom hergestellt werden. Wird der Kohlenstoff nicht aus fossilen Quellen gewonnen ist die Nutzung von E-Fuels klimaneutral. Die Herstellung ist allerdings energie- und kostenintensiv und bislang noch nicht auf industriellem Maßstab skaliert.

E-Hybrid-Lkw: Hybridfahrzeuge kombinieren Verbrennungs- und Elektromotoren, wodurch der Aufbau komplex ist. Für schwere Nutzfahrzeuge existieren wenige Modelle. CO₂-Einsparungen hängen vom elektrischen Fahranteil ab.

Batterieelektrischer Lkw: Der elektrische Antriebsstrang wird über ein mitgeführtes Batteriesystem mit Strom versorgt. Der Fahrbetrieb ist frei von CO₂- und Luftschadstoffemissionen. Der hohen Effizienz stehen hohe Batteriegewichte gegenüber, wodurch sich Limitationen der Reichweiten und ggf. Nutzlastverluste ergeben. Das stationäre Laden erfordert zudem längere Standzeiten oder leistungsstarke Ladepunkte im Megawatt-Bereich.

Oberleitungs-Lkw: Der elektrische Antrieb wird über Stromabnehmer direkt aus über der Fahrbahn installierten Oberleitungen gespeist. Gleichzeitig kann ein Batteriesystem für Fahrten jenseits der Oberleitung dynamisch während der Fahrt geladen werden. Der elektrische Fahrbetrieb ist frei von CO₂- und Luftschadstoffemissionen. Aktuelle Prototypen sind für kurze Pilotstrecken (ELISA, FESH, eWayBW) als Hybridfahrzeuge mit zusätzlichem Dieselmotor ausgestattet.

H₂-Brennstoffzellen-Lkw: Im Fahrzeug wandeln Brennstoffzellen Wasserstoff in Strom um, welcher den elektrischen Antrieb speist. Der Fahrbetrieb ist frei von CO₂- und Luftschadstoffemissionen. Limitationen in der Reichweite resultieren aus der geringen Dichte von Wasserstoff, wodurch hohe Kompressionsstufen oder eine Verflüssigung nötig sind. Herausforderungen bestehen zudem in einer klimaneutralen und kostengünstigen Herstellung von Wasserstoff.

Lkw mit H₂-Verbrennungsmotor: Wasserstoff kann in angepassten Verbrennungsmotoren genutzt werden. Der Fahrbetrieb ist frei von CO₂- Emissionen, durch die Verbrennung entstehen allerdings Luftschadstoffe (u.a. Stickoxide). Die Reichweite bzw. die Effizienz ist ggü. Brennstoffzellen-Lkw etwas geringer. Für die Herstellung von klimaneutralem Wasserstoff gelten die gleichen Anforderungen wie bei den H₂-Brennstoffzellen-Lkw.

In der Befragung wurden die Transportunternehmen gebeten, für die aufgeführten Technologieoptionen jeweils (1) ihre bisherigen Erfahrungen und Interessen einzuordnen, (2) ihre Zufriedenheit mit gegebenenfalls erfolgten Praxistests anzugeben sowie (3) den Stellenwert der Antriebs- und Kraftstoffkonzepte im Jahr 2030 abzuschätzen.

Da sich die Angaben jeweils auf vorgegebene Antwortmöglichkeiten beziehen, werden für die nachfolgende Diskussion der Ergebnisse zusätzlich Freitext-Antworten ausgewertet, um eine bessere Einordnung und Interpretation der Antworten zu gewährleisten. Die Antworten sollen an dieser Stelle nicht bewertet werden, allerdings wird eine Einordnung der Technologieerfahrungen und -präferenzen in technologische Entwicklungen im Bereich alternativer Antriebe und Kraftstoffe angestrebt.

Ziel ist es, die aktuelle Einstellung und Kenntnistiefe der Logistikunternehmen zu alternativen Antriebstechnologien und Kraftstoffarten darzustellen. Dies dient gemeinsam mit der in Kapitel 2 gezeigten Teilnehmendenstruktur auch als Grundlage und als Orientierung für die in Kapitel 4 diskutierten Anforderungen der Transport- und Logistikbranche an die Politik und das Marktumfeld für die Umstellung des Fuhrparks auf klimafreundliche Technologien.

3.1. Erfahrungen mit und Interesse an alternativen Antrieben oder Kraftstoffen

Die Erfahrungstiefe der befragten Unternehmen mit alternativen Antriebs- und Kraftstoffkonzepten ist in Abbildung 3-1 dargestellt. In Summe haben 229 Unternehmen die Frage vollständig beantwortet. Insgesamt sind bei den teilnehmenden Logistikunternehmen erst wenige Fahrzeuge mit alternativen Antrieben oder Kraftstoffen in der Vergangenheit eingesetzt worden bzw. aktuell im Einsatz. Insbesondere bei den mittlerweile als besonders vielversprechend diskutierten elektrischen Antriebsoptionen fehlt die praktische Erfahrung. Derzeit sind vor allem LNG- und CNG-Lkw im Einsatz, die von einigen Herstellern bereits seit einigen Jahren angeboten werden. Für die meisten der zur Auswahl gestellten Technologien ist allerdings ein breites grundsätzliches Interesse vorhanden, wobei eine deutliche Präferenz für Wasserstoffantriebe festzustellen ist.

Biokraftstoffe wurden und werden von etwa 45 % der Unternehmen in der Vergangenheit und derzeit eingesetzt. Da Biokraftstoffe standardmäßig mit bis zu 7 Vol.-% fossilen Dieselmotorkraftstoffen beigemischt werden (B7), war ein höherer Anteil zu erwarten. Womöglich haben die Unternehmen die Option zum Teil mit einer reinen Verwendung von Biokraftstoffen (B100) oder höheren Beimischmengen verbunden, wie sie für einige Motoren bereits möglich sind (B20, B30). Rund 30 % der Befragungsteilnehmenden gibt zudem an, kein Interesse an Biokraftstoffen zu haben.

E-Fuels für Nutzfahrzeuge sind bisher nicht am Markt verfügbar. Zum Teil werden synthetische Kraftstoffe angeboten, die auf biogenen Quellen oder Erdgas basieren. Eine Herstellung von E-Diesel, also von strombasierten Kraftstoffen, befindet sich bislang noch in der Demonstrationsphase. Die Angaben zu Erfahrungen mit diesen Kraftstoffen deuten auf fehlende Kenntnisse zu alternativen Technologien bei einem Teil der Transportbranche und möglichen Verwechslungen hin.

Die Erfahrungen mit elektrischen Lkw sind erwartungsgemäß gering, da die Fahrzeuge sich im Jahr 2019 noch im Prototypen-Status befanden. Laut Zulassungsstatistik des KBA waren im Jahr 2019 insgesamt 21 Nutzfahrzeuge mit über 12 Tonnen Gesamtgewicht mit reinem Elektroantrieb zugelassen, dies entspricht 0,006 % des Bestandes (KBA 2019). Von den befragten Unternehmen setzen bereits knapp 5 % Batterie-Lkw ein. Der Einsatz von Oberleitungs-Lkw bei 3 % der Unternehmen hängt mit den drei Feldversuchen in Deutschland zusammen (ELISA¹, FESH², eWayBW³), in denen

¹ <https://www.erneuerbar-mobil.de/projekte/elisa>

² <https://www.erneuerbar-mobil.de/projekte/fesh-ii>

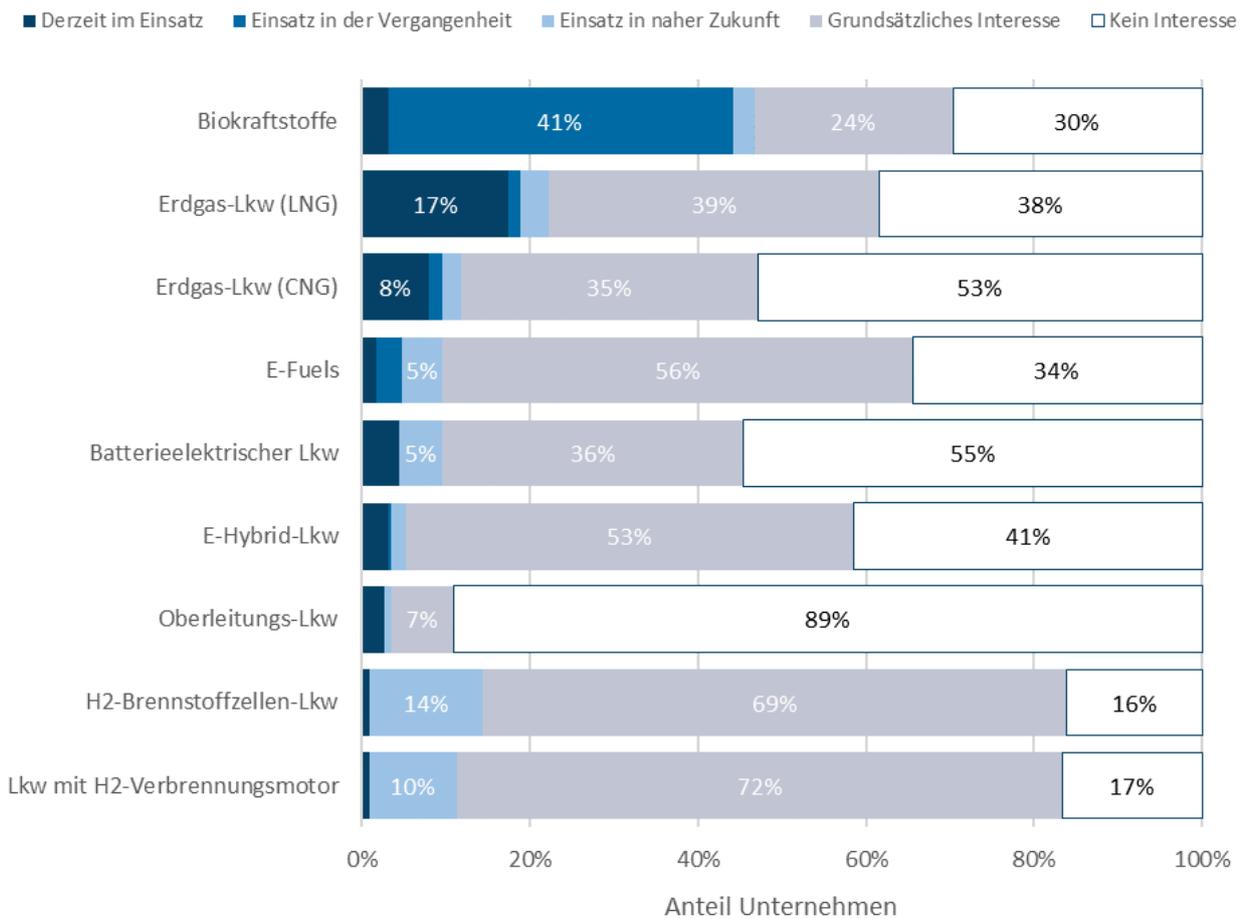
³ <https://www.erneuerbar-mobil.de/projekte/ewaybw>

die Technologie in der Praxis erprobt wird. Zwei Unternehmen geben an, Lkw mit Brennstoffzellen und Wasserstoffmotoren im Einsatz zu haben.

Für den „Einsatz in naher Zukunft“ planen die befragten Unternehmen weniger mit Erdgas-Motoren, sondern setzen insbesondere auf wasserstoffbasierte Antriebskonzepte. Auch das grundsätzliche Interesse fällt deutlich zugunsten der beiden Wasserstoff-Optionen aus, die jeweils für etwa 70 % der Befragten eine interessante Alternative zum konventionellen Diesel-Lkw darstellen. Gleichzeitig sind die H₂-Brennstoffzelle und der H₂-Verbrennungsmotor die beiden Technologien, die bisher praktisch noch nicht eingesetzt wurden. Ebenfalls von Interesse sind für eine Mehrheit der Unternehmen E-Fuels und E-Hybrid-Lkw.

Abbildung 3-1: Erfahrungen und Interesse an alternativen Antriebs- und Kraftstofftechnologien (n=229)

Originalfrage: Welche Erfahrungen haben Sie mit den folgenden Antriebstechnologien und Kraftstoffarten bei Nutzfahrzeugen?



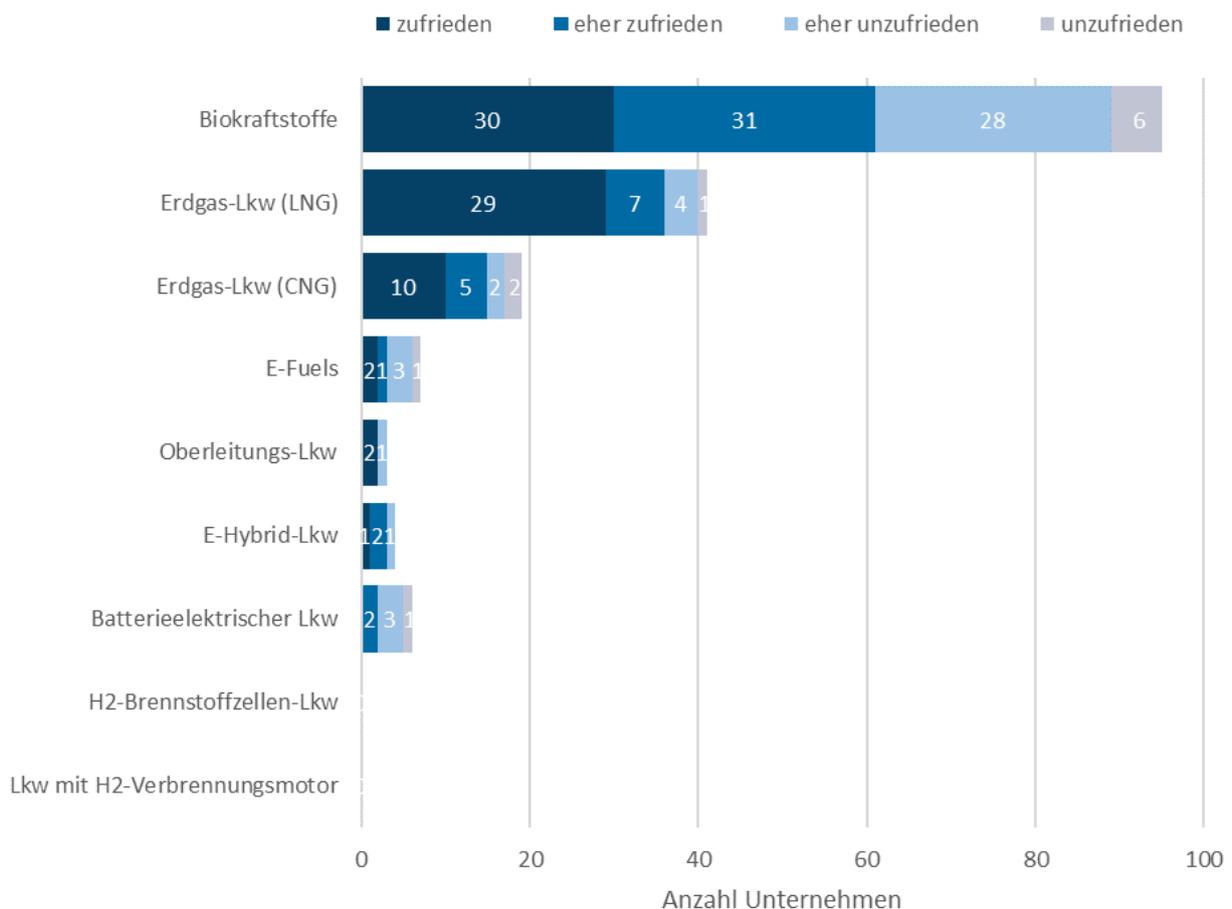
Quelle: Eigene Darstellung

Weniger Interesse haben die Transportunternehmen laut der Befragung an den elektrischen Antriebskonzepten mit direkter Stromnutzung. Oberleitungs-Lkw werden von fast 90 % der befragten Unternehmen als uninteressant bewertet. Schon in der Begleitforschung zu den Feldversuchen zeigten sich zum Teil Akzeptanzprobleme der Technologie in der öffentlichen Wahrnehmung, die häufig auf einer vermeintlichen Konkurrenz zum Schienenverkehr basieren (Fraunhofer ISI 2020).

Auch Batterie-Lkw werden von der Mehrheit der befragten Unternehmen skeptisch gesehen, 55 % von ihnen geben an, kein Interesse an der Technologie zu haben. Diese Skepsis scheint sich überwiegend auf das Risiko von mangelnden Reichweiten und möglichen Nutzlastverlusten im Fernverkehr zu beziehen. Bei etwa einem Drittel der Befragten stoßen Batterie-Lkw hingegen auf grundsätzliches Interesse. Rund 5 % der Unternehmen planen in naher Zukunft einen Einsatz von batterieelektrischen Lkw.

Abbildung 3-2: Zufriedenheit mit bereits eingesetzten alternativen Antriebs- und Kraftstofftechnologien (n = 117)

Originalfrage: Wie zufrieden waren oder sind Sie mit dem Einsatz der folgenden Antriebstechnologien und Kraftstoffarten?



Quelle: Eigene Darstellung

Unternehmen, die bereits alternative Lkw im Einsatz hatten, wurden zusätzlich gebeten ihre Zufriedenheit mit der eingesetzten Technologie anzugeben (Abbildung 3-2). Entsprechend hat nur ein Teil der Unternehmen die Anschlussfrage beantwortet. Für eine bessere Übersicht der erfolgten Praxistests und Einordnung zur Gesamtstichprobe, sind die absoluten Antwortzahlen dargestellt. Es zeigt sich erneut, dass die praktischen Erfahrungen mit elektrischen Antriebs- und Kraftstofftechnologien noch sehr gering sind und sich auf vereinzelte Anwendungen beziehen, losgelöst von einer flächendeckend verfügbaren Energieversorgungsinfrastruktur. Tendenziell wird ein Einsatz von Oberleitungs-Lkw eher positiv und von Batterie-Lkw eher negativ bewertet. Für zuverlässige Aussagen bezüglich des Gesamtmarkts ist diese Teilstichprobe allerdings zu gering. Zum Einsatz von Brennstoffzellen-Lkw gab es in dieser Frage keine Rückmeldungen.

Bei den etablierteren alternativen Technologien ist eine hohe Zufriedenheit mit Erdgas-Lkw hervorzuheben. Knapp 90 % der Transportunternehmen, die ihren Einsatz von LNG-Lkw bewertet haben, sind „zufrieden“ oder „eher zufrieden“ mit der Technologie. Dies ist bemerkenswert, da für LNG-Lkw noch kein flächendeckendes Tankstellennetz zur Verfügung steht. Die Anzahl hat - befördert durch die EU-Richtlinie zum Ausbau alternativer Infrastruktur - in den letzten Jahren in einigen EU-Ländern wie den Niederlanden zugenommen (AFID 2014). In Deutschland ist aktuell ein Basisnetz von rund 90 LNG-Tankstellen im Betrieb (dena 2021). Der Einsatz von Erdgas-Lkw wurde zudem in den letzten Jahren durch Kaufprämien und Mautbefreiungen stark politisch gefördert. Für die Novelle der AFID hat die EU-Kommission in diesem Sommer einen verbindlicheren und stärkeren Fokus auf den Aufbau von Ladeinfrastruktur für elektrische schwere Nutzfahrzeuge und im geringeren Umfang von Wasserstoff-Tankstellen vorgeschlagen (AFIR 2021).

3.2. Einschätzungen zur Marktrelevanz der Technologieoptionen im Jahr 2030

Im Anschluss an die Fragen zu bisherigen Erfahrungen und zu grundsätzlichen Interessen hinsichtlich alternativer Nutzfahrzeuge, wurden die Transportunternehmen mit Blick auf das Jahr 2030 um eine Einschätzung gebeten, welche der zur Auswahl gestellten Antriebs- und Kraftstofftechnologien „als Standard im Einsatz“, „partiell im Einsatz“, „in Nischen im Einsatz“ oder „vom Markt verschwunden“ sein werden. Die Häufigkeitsverteilung der hierfür vorliegenden 219 Rückmeldungen zeigt Abbildung 3-3.

Fast alle Technologieoptionen werden von den Unternehmen zumindest „in Nischen im Einsatz“ gesehen. Eine Universallösung, wie sie bisher der Dieselantrieb darstellt, zeichnet sich für die nähere Zukunft nicht ab. Vielmehr deuten die Antworten darauf hin, dass für das Jahr 2030 ein Technologiemix aus unterschiedlichen alternativen Antrieben und Kraftstoffen erwartet wird. Um die Antwortmöglichkeiten nicht weiter zu verkomplizieren, wurde darauf verzichtet mögliche Kombinationen von Technologien zu wählen. Möglicherweise würden sich favorisierte Technologiemixe deutlicher hervorheben.

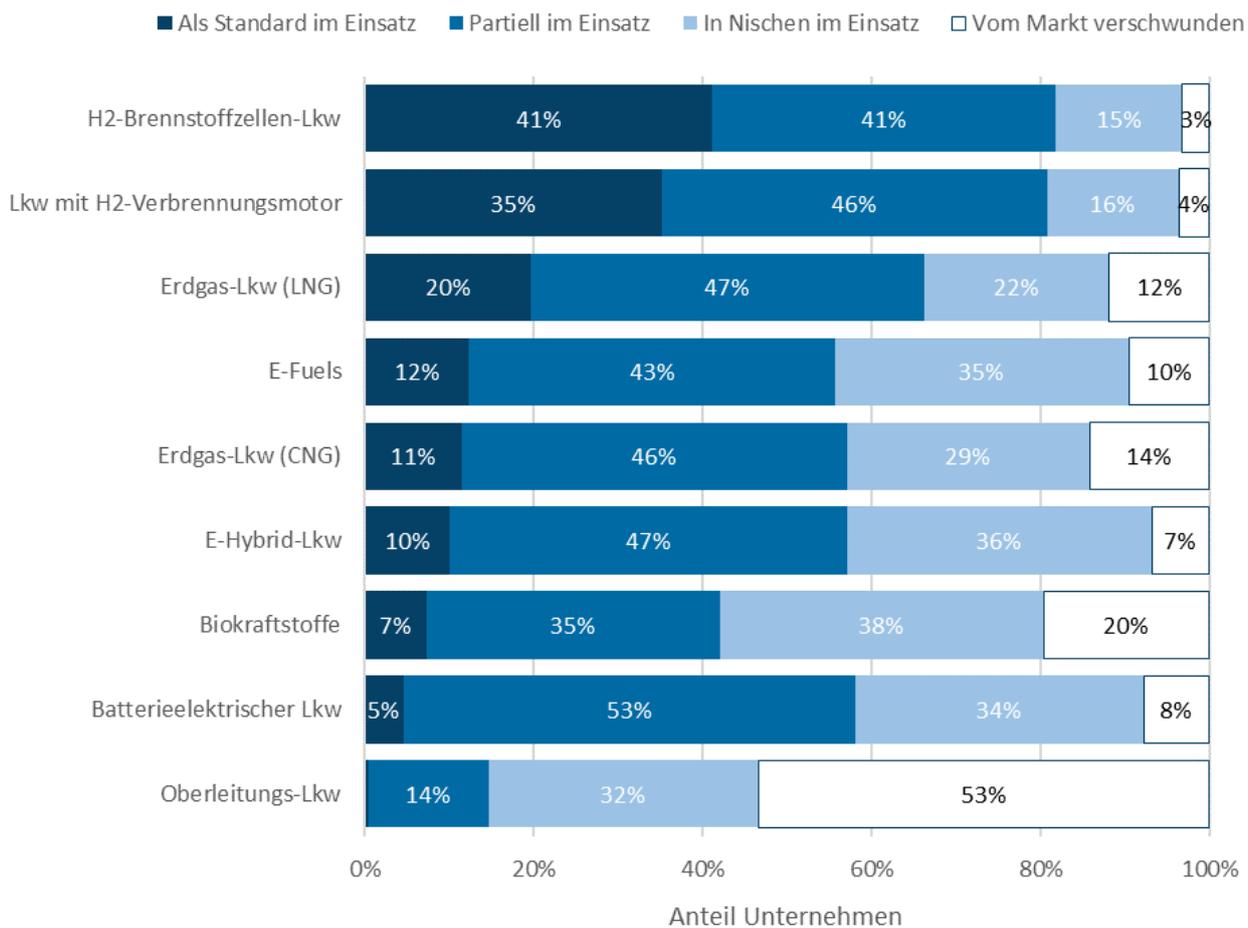
Zusätzlich deutet die breite Streuung der präferierten Technologien - auch unter Berücksichtigung der Freifeldkommentare - auf eine starke Verunsicherung der Branche hin, welche im Folgenden anhand der einzelnen Technologien näher beschrieben wird.

Erdgasantriebe werden eher als Brückentechnologie gesehen. Obwohl die Fahrzeugtechnologie und ein Basisnetz an Erdgas-Tankstellen zur Verfügung stehen, sehen nur 20 % der befragten Unternehmen LNG-Lkw als Standard der im Jahr 2030 eingesetzten Antriebs- und Kraftstoffkonzepte. Bei CNG-Lkw sind es nur 11 %. Jeweils rund 45 % sehen die Technologie zumindest partiell im Einsatz. Bemängelt wird die unklare Einsparung von CO₂-Emissionen. Einige Unternehmen heben hervor, dass LNG-Fahrzeuge aktuell die einzige Antriebsoption darstellten, die kurzfristig CO₂-Ein-

sparungen erzielen könne. Andere weisen darauf hin, dass die CO₂-Einsparungen im Abgas je Kilometer im Vergleich zu Diesel-Lkw sehr gering seien. Auch wissenschaftliche Studien zeigen, dass LNG-Lkw im realen Fahrbetrieb nur einen geringen CO₂-Vorteil bringen und, dass dieser Nutzen durch klimawirksame Emissionen in den Vorketten der Betankung, z. B. durch Methan-Schlupf, aufgehoben werden kann (vgl. T&E 2021b, Öko-Institut 2020d). Entsprechend kontrovers wird auch die politische Förderung von Erdgas-Antrieben beurteilt: Einige Unternehmen kritisieren die trotz der geringen CO₂-Einsparung mehrjährige finanzielle Förderung über Kaufprämien und Mautbefreiungen und weisen auf das Mahnverfahren hin, welches die EU aufgrund der Mautbefreiung gegen Deutschland erhoben hat. Befürworter der Technologie irritiert wiederum, dass die Bundesregierung die finanzielle Förderung von Erdgasantrieben auslaufen lässt. Widersprüchliche Signale seitens der Politik begünstigen diese Kontroversen und erschweren den Transportunternehmen Entscheidungen über Investitionen in zukünftige Fahrzeugtechnologien.

Abbildung 3-3: Einschätzung der Marktrelevanz der alternativen Antriebs- und Kraftstofftechnologien im Jahr 2030 (n = 219)

Originalfrage: Welchen Stellenwert werden Ihrer Meinung nach im Jahr 2030 die folgenden alternativen Kraftstoffe/Antriebe für den Güterkraftverkehr in Deutschland haben?



Quelle: Eigene Darstellung

Biokraftstoffe werden von nur 7 % der Befragungsteilnehmenden als Standard-Technologie im Jahr 2030 bewertet. Über die Hälfte der befragten Unternehmen schätzt mit Blick auf das Jahr 2030, dass Biokraftstoffe nur „in Nischen im Einsatz“ oder gänzlich vom Markt verschwunden sein werden. Politisch ist die Förderung von konventionellen Biokraftstoffen aufgrund der negativen Auswirkungen durch direkte und indirekte Flächennutzungskonkurrenzen mit dem globalen Anbau von Futter- und Nahrungsmitteln sowie dem Risiko von Primärwaldrodungen stark zurückgegangen. Mit der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (REDII 2018) werden vor allem solche Biokraftstoffe gefördert, die eine Nutzung im Wesentlichen auf organische Reststoffe beschränken (z.B. aus der Landwirtschaft und Waldrestholz). Der Richtungswechsel der Politik hinsichtlich der Förderung von Biokraftstoffen – so notwendig er aus ökologischen Gesichtspunkten auch war - hat Narben hinterlassen. Einigen Unternehmen ist nicht verständlich, warum Biodiesel nicht stärker gefördert wird. Die überwiegende Mehrheit der befragten Unternehmen räumt Biokraftstoffen zwar einen eher geringen Stellenwert in der Zukunft ein, der Strategiewechsel der Politik hat bei vielen Unternehmen allerdings eine Skepsis gegenüber der Zuverlässigkeit politischer Richtungsentscheidungen hinterlassen.

Häufig wird Bio-LNG als klimaneutrale Option für Erdgasantriebe genannt. Die Erzeugung von Biogas aus landwirtschaftlichen Reststoffen ist im Einklang mit den Vorgaben der Erneuerbare-Energien-Richtlinie. Das Potenzial reicht allerdings nicht aus, um die Energienachfrage des Straßengüterverkehrs zu decken (vgl. u.a. T&E 2021b, ifeu 2019). In Nischen kann Biogas allerdings zukünftig im Transportmarkt eine Rolle spielen.

Strombasierte synthetische Kraftstoffe bzw. E-Fuels werden von 12 % der befragten Unternehmen im Jahr 2030 als Standard gesehen. Die befürwortenden Unternehmen der Technologie fordern von der Politik stärkere Ambitionen für den Aufbau von Produktionsanlagen und für die Etablierung strategischer Importe, wobei E-Fuels in Summe nur vereinzelt in den Freifeldkommentaren Erwähnung finden. Erneut werden widersprüchliche Signale der Politik zur Technologie bemängelt. Die Mehrheit von 43 % der Unternehmen sieht E-Fuels im Jahr 2030 nur partiell und weitere 35 % in Nischen im Einsatz. Dies deckt sich mit aktuellen Strategien und Szenarien zum Klimaschutz im Straßengüterverkehr, die vor allem auf eine effizientere und wirtschaftlichere direkte Elektrifizierung durch einen Antriebswechsel der Nutzfahrzeuge setzen (vgl. u.a. BMVI 2020, Fraunhofer ISI 2021b, BDI 2021, Prognos 2021).

Auffällig ist, dass Wasserstofftechnologien als zukünftiger Marktstandard bewertet werden (vgl. Abbildung 3-3). Etwa 40 % der Befragten sehen Brennstoffzellen-Lkw perspektivisch als Standard im Einsatz und gut 80 % mindestens „partiell im Einsatz“. Der Wasserstoffverbrennungsmotor wird von 35 % als Standard-Technologie im Jahr 2030 eingeschätzt und von weiteren ca. 45 % als partiell eingesetzte Technologie. Es werden anscheinend große Hoffnungen in wasserstoffbasierte Antriebskonzepte gesetzt. Dies ist bemerkenswert, da sich der Wasserstoffverbrennungsmotor noch in der Entwicklung befindet und Brennstoffzellen-Lkw zumindest in Deutschland nur als Prototypen-Fahrzeuge existieren. Für beide Antriebskonzepte gibt es praktisch keine Praxiserfahrungen seitens der an der Befragung teilgenommen Unternehmen. In der Entwicklung aktive Hersteller kündigen Serienfahrzeuge für die zweite Hälfte dieses Jahrzehnts an (Schaal 2021). Nichtsdestotrotz wird Wasserstoff häufig im Kontext der zum Klimaschutz nötigen Transformationen thematisiert und erfährt eine relativ starke mediale Aufmerksamkeit. Hat sich der Wasserstoffantrieb im Pkw nicht durchgesetzt, wird ein Einsatz in Langstrecken-Lkw seitens der Bundesregierung technologieoffen gefördert und erprobt (BMVI 2020, BMVI 2021). In der Schweiz sind bereits Brennstoffzellen-Lkw einer Kleinserie im Einsatz, die von den Befragungsteilnehmenden häufig als Referenz genannt werden. Die Fahrzeuge erreichen 400 km Reichweite und können innerhalb von 8-20 min betankt werden (Hyundai 2020). Für höhere Druckstufen des gasförmigen Wasserstoffs (als 350 bar) sowie bei einem möglichen Einsatz von flüssigem Wasserstoff sind höhere Reichweiten ohne Nutzlastverluste möglich. Daher erwarten die Transportunternehmen vermutlich eine gute Kompatibilität mit

bisherigen Einsatzmustern. Die befürwortenden Unternehmen fordern einen schnellen Ausbau eines Wasserstoff-Tankstellennetzes, um den Einsatz von Wasserstoffantrieben im Nutzfahrzeugsegment zu ermöglichen. Auch auf fehlende Konzepte für den begleitenden Aufbau von Versorgungsinfrastrukturen für die Tankstellen wird hingewiesen. Einige Unternehmen sprechen allerdings auch von einem „Irrweg“, da hohe Gesamtnutzungskosten zu erwarten seien und nur eine sehr eingeschränkte Verfügbarkeit von klimaneutralem Wasserstoff. Wissenschaftliche Studien heben ebenfalls die Knappheit (vgl. Öko-Institut 2020c, SRU 2021) und Kosten (vgl. NPM 2020, Öko-Institut 2021) des Energieträgers hervor und empfehlen eine Nutzung primär in Anwendungen, für welche keine technischen Alternativen zur Verfügung stehen, wie in der Stahlindustrie oder chemischen Industrie.

Die geringste Marktverfügbarkeit im Jahr 2030 wird dem Oberleitungs-Lkw beigemessen. Über die Hälfte der Befragten geht davon aus, dass Oberleitungs-Lkw bis 2030 vom Markt verschwunden sein werden. Nur 1 % sieht die Technologie als Standard und 14 % partiell im Einsatz, während 32 % nur einen Einsatz in Nischen erwarten. Die Technologie ist bisher nur auf wenigen Teststrecken ausgebaut und dürfte im Vergleich zu den elektrischen Alternativen, die auch für Pkw diskutiert wurden, weniger bekannt sein. Akteursseitig wird das sogenannte eHighway-System vorwiegend von Siemens vorangetrieben, speziell die Oberleitungsinfrastruktur und der Stromabnehmer. Die Fahrzeugprototypen in den Feldversuchen werden von Scania geliefert. Die Technologie soll in den kommenden Jahren auch auf längeren Testkorridoren erprobt werden (BMVI 2020). Oberleitungssysteme gelten als technisch ausgereift sowie als effiziente und langfristig wirtschaftliche Dekarbonisierungsoption für den Güterfernverkehr auf der Straße (The Boston Consulting Group 2018, Öko-Institut 2020b, ifeu 2020). Allerdings ist bereits zuvor im Text auf Vorbehalte gegenüber der Technologie hingewiesen worden. Neben einer vermeintlichen Konkurrenz zum Schienenverkehr wird von den Unternehmen eine geringe Einsatzflexibilität angemerkt sowie die Gefahr von Sturmschäden und offenen Haftungsfragen im Falle von Vollsperrungen von Autobahnen benannt. Vermutlich ist noch wenig Wissen zur Technologie verbreitet. Das Image der Technologie könnte besser von den positiven Erfahrungen aus den Praxisversuchen profitieren.

Batterieelektrische Lkw sehen lediglich 5 % der befragten Unternehmen im Jahr 2030 als Standard im Einsatz, allerdings können sich knapp 90 % einen Einsatz partiell oder in Nischen vorstellen. Sinnvoll erscheint den Befragungsteilnehmenden eine Elektrifizierung insbesondere in der City-Logistik und im Regionalverkehr. Auch in dem strategischen Technologiefahrplan der Bundesregierung werden Batterie-Lkw bis 26 Tonnen perspektivisch als Standard im Nah- und Regionalverkehr gesehen (BMVI 2020). Die Technologieoffenheit seitens politischer Förderungen fokussiert sich auf den Fernverkehr. In diesem Bereich sehen die befragten Unternehmen einen Einsatz von Batterie-Lkw zum Teil skeptisch und als nicht kompatibel mit ihren Leistungsanforderungen. Das Mehrgewicht durch die Batterien und mögliche Nutzlastverluste werden als Hemmnis genannt sowie die fehlende Energieversorgungsinfrastruktur und ein fehlendes Fahrzeugangebot. Für das Mehrgewicht der Batterien werden höhere zulässige Gesamtgewichte gefordert, welche mit den CO₂-Emissionsstandards für emissionsfreie schwere Nutzfahrzeuge zumindest bereits in Höhe von 2 Tonnen gewährt werden (Regulation (EU) 2019/1242 2019). Zudem werden die höheren Investitionskosten thematisiert sowie eine höhere Komplexität der Tourenplanung, wenn Ladeaufenthalte berücksichtigt werden müssen. Vereinzelt gibt es strukturelle Kritik an dem elektrischen Antriebskonzept: Es wird die positive Klimabilanz von Batterie-Lkw angezweifelt und auf eine fehlende Kreislaufwirtschaft für die Batteriematerialien hingewiesen. Anderen Unternehmen geht der Wechsel auf Elektroantriebe zu zögernd voran, sie hätten sich früher politische Richtungsentscheidungen gewünscht. Die Meinungen gehen also weit auseinander. Zusätzlich bestehen Unsicherheiten bezüglich der weiteren Technologieentwicklungen von Batterie-Lkw und der Ausgestaltung des Aufbaus der Ladeinfrastruktur.

Speziell bei dem Interesse an batterieelektrischen Nutzfahrzeugen lassen sich strukturelle Abhängigkeiten von der Unternehmensart und -größe erkennen: Während von den reinen Frachtführern nur etwa 22 % ein grundsätzliches Interesse an batterieelektrischen Lkw äußern oder einen Einsatz in naher Zukunft planen, sind es bei den Spediteuren im Selbsteintritt 44 % und bei den Spediteuren ohne eigenen Fuhrpark 100 %. Das Interesse ist also bei Betrieben ausgeprägter, die sich weniger mit den konkreten Anforderungen des Fahrzeugeinsatzes auseinandersetzen müssen. Auch mit zunehmenden Beschäftigtenzahlen lässt sich ein steigendes Interesse an Batterie-Lkw feststellen. Für Brennstoffzellen- und Oberleitungs-Lkw sind diese strukturellen Unterschiede weniger ausgeprägt.

Insgesamt scheint die Akzeptanz speziell für die rein elektrischen Antriebsoptionen (Batterie- und Oberleitungs-Lkw), für welche nach dem „Gesamtkonzept klimafreundliche Nutzfahrzeuge“ der Bundesregierung (BMVI 2020) zeitnahe Pfadentscheidungen vorgesehen sind, noch wenig ausgeprägt zu sein. Wasserstoffantriebe, für welche die Markteinführung und relevante Pfadentscheidungen erst in der zweiten Hälfte der Dekade erwartet werden, bewerten die befragten Unternehmen hingegen als vielversprechend. Die kontroversen Aussagen zu nahezu allen alternativen Antriebs- und Kraftstoffkonzepten zeigen die Verunsicherung der Logistikbranche hinsichtlich der zukünftigen Fahrzeugtechnologien und den Bedarf nach langfristigen Richtungsentscheidungen.

3.3. Kriterien für die Umstellung des Fuhrparks auf alternative Fahrzeuge

Zuvor wurden bereits einige Aspekte beschrieben, die den befragten Transportunternehmen für einen möglichen Einsatz alternativer Antriebe wichtig sind. Die folgende Fragestellung richtet sich gezielt an die Relevanz verschiedener Kriterien bei der Umstellung des Fuhrparks von Diesel-Lkw auf alternative Kraftstoff- und Antriebskonzepte. Dafür wurden die Teilnehmenden der Befragung gebeten, elf vordefinierte Kriterien in der Rangfolge ihrer Relevanz anzuordnen. Die angezeigte Reihenfolge der Kriterien wurde zufällig für jedes Unternehmen angeordnet, um eine Verzerrung hin zu erstgenannten Kriterien zu vermeiden. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3-4 über zwei Dimensionen dargestellt: (1) nach den Mittelwerten der gewählten Rangfolgen zwischen dem ersten und dem elften Platz und (2) anhand des Anteiles an ersten Plätzen eines Kriteriums.

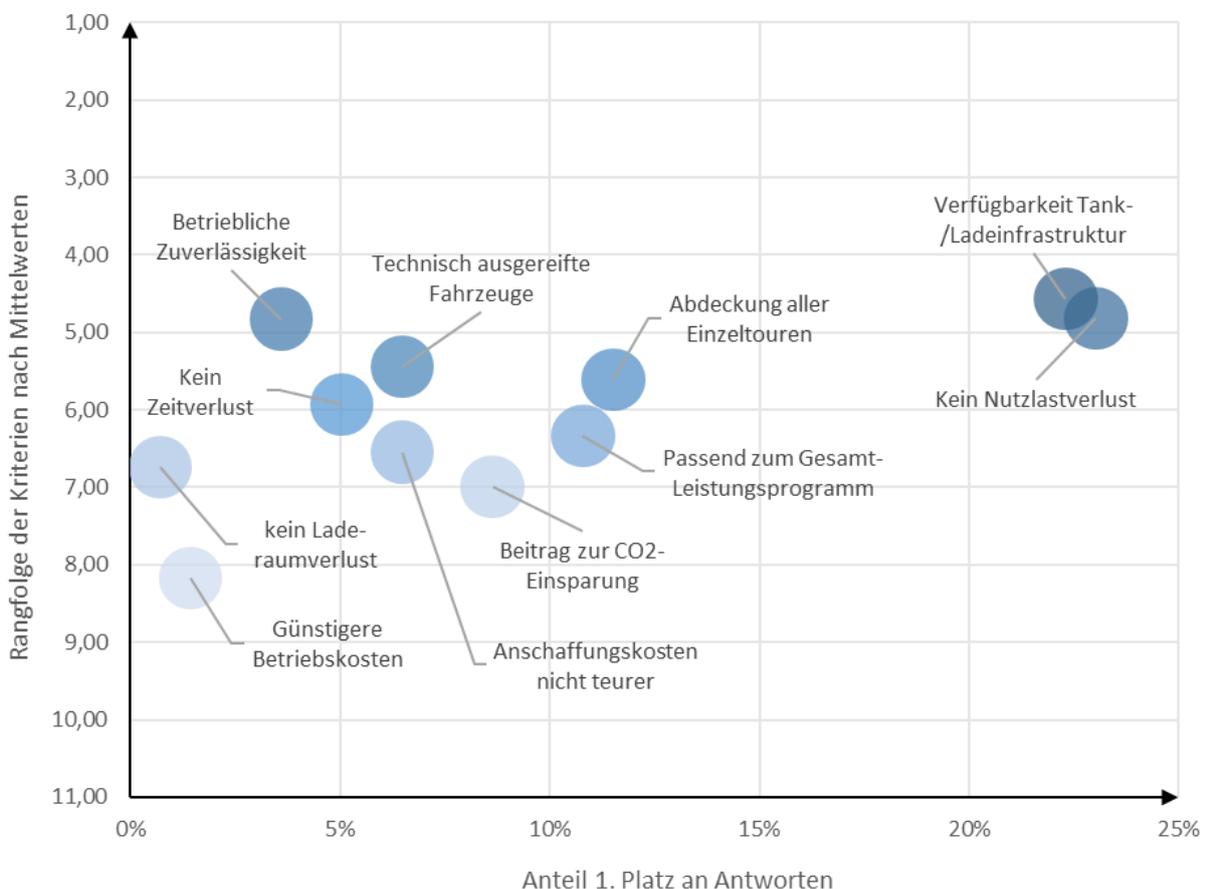
Die beiden wichtigsten Kriterien für eine Umstellung auf Alternativen zu Diesel-Lkw sind laut der Befragung die Verfügbarkeit von alternativer Tank- und Ladeinfrastruktur sowie ein möglicher Nutzlastverlust für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben. Jeweils ein knappes Viertel der Befragten wählt eines der beiden Kriterien auf den ersten Platz. Eine flächendeckende Verfügbarkeit von Tank- und Ladeinfrastruktur ergibt sich auch aus den Freifeldkommentaren als zentrale Voraussetzung für die Integration von alternativen Fahrzeugantrieben in die Praxis. Dabei scheint es weniger relevant zu sein, dass Fahrzeuge mit alternativen Antrieben „trotz technisch bedingter Standzeiten (z. B. zum Nachladen der Batterie) die gleiche Zeit am Tag verfügbar sein [müssen] wie unsere derzeitigen Diesel-Lkw“ („kein Zeitverlust“ in Abbildung 3-4).

Auffällig ist die Diskrepanz zwischen der Bewertung der Relevanz des Kriteriums „kein Nutzlastverlust“ und „kein Laderaumverlust“. Während das erstgenannte Kriterium als „Top-Kriterium“ von vielen der Befragungsteilnehmenden gewertet wurde, suggeriert das Ergebnis, dass der Verlust von Laderaum bei Lkw mit alternativen Antrieben eine untergeordnete Rolle spielt. Diese Aussage steht auf den ersten Blick im Widerspruch zu Studien zum Bundesverkehrswegeplan (Steinbeis 2011), bei der Lkw in Deutschland vermehrt volumenseitig ausgelastet sind. Allerdings steht in der öffentlichen Diskussion um das Thema batterieelektrische Lkw vermehrt das Batteriegewicht und ein möglicher Nutzlastverlust und weniger der Verlust von Laderaum im Vordergrund. In der Praxis sind sowohl Nutzlast als auch Laderaum unverzichtbar, da jeder Verlust Anpassungen im Fahrzeugein-

satz bedingt. Betrachtet man als Erklärungsversuch die Haupteinsatzprofile der Befragungsteilnehmenden, die das Kriterium „kein Nutzlastverlust“ auf den ersten Rang gewählt haben (vgl. Abschnitt 4.1), zeigt sich, dass die Bedeutung eines Nutzlastverlustes im Stückgutsegment signifikant geringer ist als bei Ladungs- und Sonderverkehren. Insbesondere in dem für den Transportmarkt wichtigem Segment der Ladungsverkehre spielt die verfügbare Nutzlast demnach eine zentrale Rolle für die Akzeptanz von alternativen Fahrzeugantrieben.

Abbildung 3-4: Relevanz ausgewählter Kriterien bei der Umstellung des Fuhrparks auf alternative Kraftstoff- und Antriebskonzepte (n = 139)

Originalfrage: Bitte priorisieren Sie die folgenden Aussagen zur Umstellung Ihres Fuhrparks auf alternative Kraftstoff- und Antriebskonzepte!



Quelle: Eigene Darstellung

Mit einem hohen Rang wurde zudem bewertet, dass Lkw mit alternativen Antrieben die gleiche Zuverlässigkeit im Betrieb aufweisen müssen wie Diesel-Lkw. Zwar wird das Kriterium selten auf den ersten Platz gewählt, liegt aber im Durchschnitt in der Rangfolge in etwa auf gleichem Niveau wie „kein Nutzlastverlust“. In einer Branche, in der ein großer Wettbewerb herrscht, stellen ungeplante Ausfallzeiten ein hohes Risiko dar, da Kundenanforderungen zufriedengestellt werden müssen. Bei neuen Technologien bestehen in der Einführungsphase jedoch zunächst Unsicherheiten bezüglich möglicher Ausfallzeiten. Deshalb ist es für die Unternehmen äußerst relevant, wie schnell Probleme behoben werden können. Gerade bei neuen Technologien sind vermehrt die Hersteller bzw. Externe gefragt, da anfangs das Wissen fehlt, Störungen selbst zu beheben. So wird in der Befragung von

einigen Unternehmen bemängelt, dass Werkstätten und geschultes Personal für alternative Antriebe fehlen. Entsprechend hoch wird auch gewertet, dass Fahrzeuge mit alternativen Antrieben „technisch ausgereift sein [müssen], bevor sie in unsere Flotte integriert werden“.

Als weitere betriebliche Kriterien spielt für die Unternehmen ebenfalls eine wichtige Rolle, dass Fahrzeuge mit alternativen Antrieben „alle Einzeltouren abbilden können, die unsere derzeitigen Diesel-Lkw abbilden können“ und, dass sie „in unser Gesamt-Leistungsprogramm passen [müssen]“. In der Befragung wurde jedoch nicht speziell nach einer Universallösung gefragt. Daher wäre es möglicherweise auch akzeptabel, einen gemischten Fuhrpark zu betreiben. Auch der für das Jahr 2030 erwartete Technologiemix (vgl. Abbildung 3-3) legt dies nahe. Je nach Einsatzprofil und Entfernungsbereich könnten also zukünftig beispielsweise Batterie- oder Wasserstoff-Lkw eingesetzt werden.

Der Senkungsbeitrag zum CO₂-Fußabdruck wird in der Rangfolge im Durchschnitt nach den betrieblichen Kriterien gewählt. Allerdings wird der Beitrag zu CO₂-Einsparungen auch als fünfthäufigstes Kriterium auf den ersten Platz gewählt. Dies legt nahe, dass einigen Unternehmen der CO₂-Fußabdruck ihrer Transporte sehr wichtig ist. In Anbetracht der oben geführten Diskussion zu den Technologiepräferenzen kann es aber auch bedeuten, dass eine Umstellung auf alternative Antriebe nur dann als sinnvoll erachtet wird, wenn sie tatsächlich einen Beitrag zur Reduktion von Treibhausgasen bietet.

Verglichen mit anderen Kriterien scheinen die Kosten bei der Fahrzeugwahl und der Umstellung des Fuhrparks auf alternative Antriebe eine weniger relevante Rolle zu spielen. Sowohl die Aussage „Lkw mit alternativen Antrieben dürfen in der Anschaffung nicht teurer sein als unsere heutigen Diesel-Lkw“ als auch noch die deutlichere Aussage „... müssen im Betrieb günstiger sein als unsere heutigen Diesel-Lkw“ wurden von den Befragungsteilnehmenden im Mittel und gemessen an dem Anteil an ersten Plätzen als weniger relevant bewertet. Allerdings bedeutet dies nicht, dass Mehrkosten keine Rolle spielen – die Fahrzeuge müssen aber zunächst zu den betrieblichen Einsatzmustern passen. In den Freitexten werden die hohen Kosten und die Notwendigkeit eines wirtschaftlichen Betriebs häufig thematisiert. Auch in Abschnitt 4.3 werden die Gesamtkosten für eine Fahrzeugneuanschaffung als wichtigstes Kriterium nach der Zuverlässigkeit genannt. In dieser Frage wurden die Gesamtkosten von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben in potenziell höhere Anschaffungskosten und einen potenziell günstigeren Betrieb aufgeteilt. Werden diese nicht mehr direkt verbunden, zeigt sich in der Tendenz eine höhere Relevanz der Anschaffungskosten gegenüber betrieblichen Kosten, welche sich auch bei der Diskussion der politischen Maßnahmen in Abschnitt 4.2 wiederfindet.

4. Anforderungen des Transport- und Logistikmarkts

4.1. Anforderungen an den Fahrzeugbetrieb

In diesem Abschnitt werden die Fragen diskutiert, die sich auf den Einsatz der Fahrzeuge beziehen. Der Fahrzeugeinsatz wird nicht explizit für alternative Antriebe erfragt, sondern bezieht sich auf die operativen Gegebenheiten im Jahr 2019 vor der COVID-19-Pandemie. Die Fragen zielen allerdings auf Merkmale, die für einen möglichen Einsatz alternativer Antriebe relevant sind:

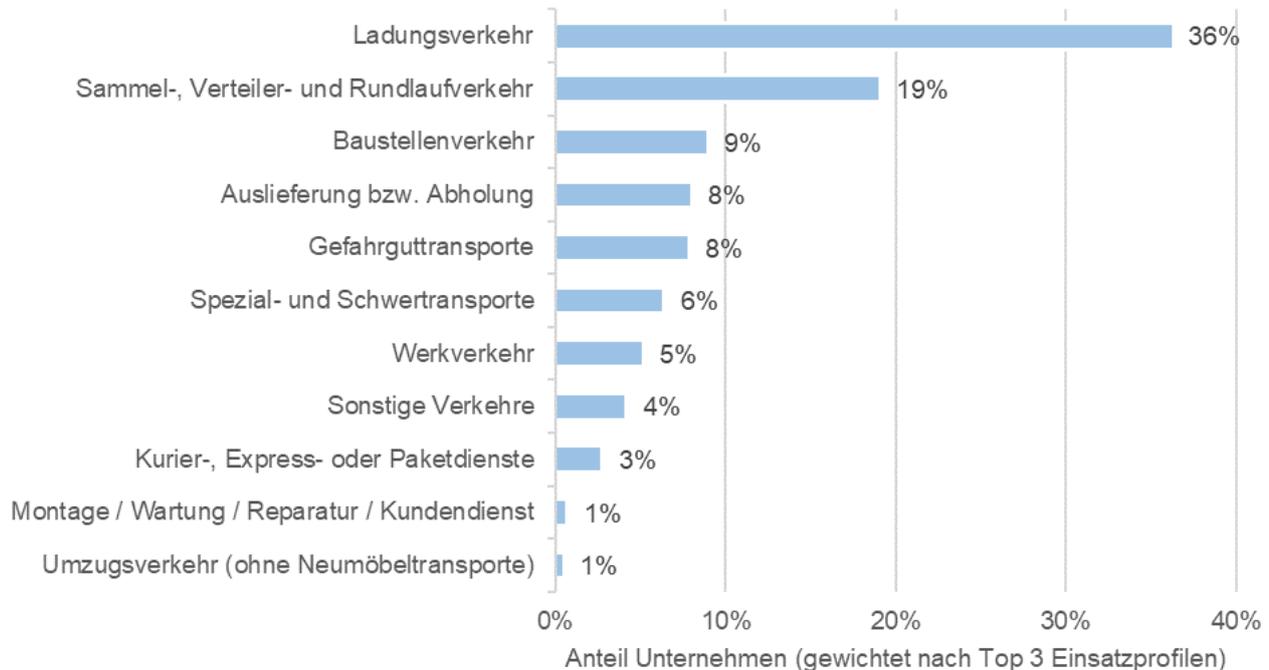
- Eingesetzte Fahrzeugkategorien
- Erforderliche Tagesfahrleistung
- Tägliche Standzeiten
- Maximaler Umweg für alternative Lade- oder Tankmöglichkeiten
- Relevanz von Nutzlast- und Laderaumverlusten
- Anteil an Leerfahrten

Um möglichst charakteristische Aussagen zu den genannten Merkmalen treffen zu können, wurden diese jeweils in den drei wichtigsten Einsatzprofilen der befragten Unternehmen erhoben. Abbildung 4-1 zeigt die Rangfolge der zur Auswahl gestellten Einsatzprofile. Wie bereits in Abschnitt 2.3 diskutiert, ist die durch die Befragung erhaltene Stichprobe durch einen hohen Anteil an „Ladungsverkehren“ sowie „Sammel-, Verteiler- und Rundlaufverkehren“ geprägt. Letzteres Einsatzprofil wird im Folgenden häufig abgekürzt als „Sammelgutverkehr“ bezeichnet. Auch die Einsatzprofile „Baustellenverkehr“, „Auslieferung bzw. Abholung“, „Gefahrguttransporte“ und „Spezial- und Schwertransporte“ werden von den befragten Unternehmen häufig als wichtige Einsatzprofile benannt. Im Vergleich zu Abbildung 2-4 fällt auf, dass der Baustellenverkehr von den befragten Unternehmen nicht sehr häufig bedient wird, das Einsatzprofil allerdings in der Rangfolge gemessen am Umsatzanteil als wichtig eingestuft wird. Für die Einsatzprofile „Werkverkehr“, „Sonstige Verkehre“ und „Kurier-, Express- oder Paketdienste“ (KEP) können nur eingeschränkt Aussagen getroffen werden, während die geringe Stichprobe für die Einsatzprofile „Montage / Wartung / Reparatur / Kundendienst“ und „Umzugsverkehr“ keine validen Schlussfolgerungen zulassen. Diese beiden Einsatzprofile werden im Folgenden nicht weiter adressiert. Bei den statistischen Auswertungen in den übrigen Einsatzprofilen wird die jeweilige Stichprobengröße in den Abbildungen aufgeführt.

Abbildung 4-1: Haupteinsatzprofile nach Relevanz – gemessen am Umsatzanteil (n = 144)

Originalfrage: Bitte geben Sie – gemessen am Umsatzanteil – die drei wichtigsten Fahrzeug-Einsatzprofile für Sie an!

Auswertung: 1. Platz: 3 Punkte, 2. Platz: 2 Punkte, 3. Platz: 1 Punkt, Normierung auf 100 %



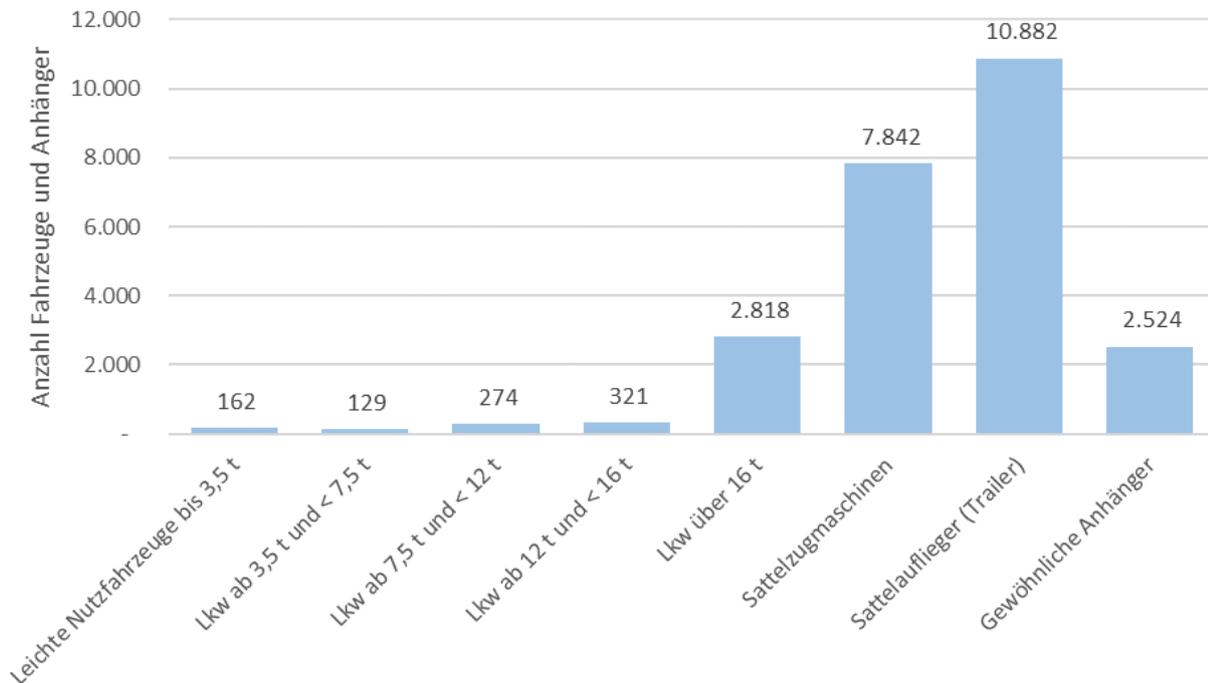
Quelle: Eigene Darstellung

Fahrzeugkategorien

Zunächst werden die Fahrzeugkategorien betrachtet, die in den Einsatzprofilen zum Einsatz kommen. Die Fuhrparks der Unternehmen setzen sich überwiegend aus Sattelzugmaschinen und Sattelaufliegern zusammen (vgl. Abbildung 4-2). Bei den Sattelzugmaschinen werden mit 7.842 Fahrzeugen rund 3,6 % des bundesweiten Bestandes erfasst (KBA 2019). Lkw ab 16 Tonnen Gesamtgewicht spielen ebenfalls eine relevante Rolle für die befragten Transportunternehmen und entsprechen in Summe ca. 2 % des Bestandes (KBA 2019). Da die Einsatzprofile, die klassischerweise überwiegend durch leichtere Nutzfahrzeuge bedient werden, wie KEP-Verkehre, Handwerk (in „Montage / Wartung / Reparatur / Kundendienst“) und Umzugsverkehre, von den befragten Unternehmen nur selten durchgeführt werden, finden sich nur geringe Bestände von Nutzfahrzeugen unter 16 Tonnen Gesamtgewicht in den Unternehmensflotten. Leichte Nutzfahrzeuge sind beispielsweise nur zu weniger als 0,01 % des bundesweiten Bestandes ein Teil der Stichprobe (KBA 2019). Die weiteren Merkmale und Schlussfolgerungen beziehen sich also insbesondere auf schwere Nutzfahrzeuge ab 16 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht.

Abbildung 4-2: Gesamtzahl an Fahrzeugen und Anhängern in den Fuhrparks der befragten Unternehmen (n = 160)

Originalfrage: Wie setzt sich Ihr Fuhrpark zusammen?

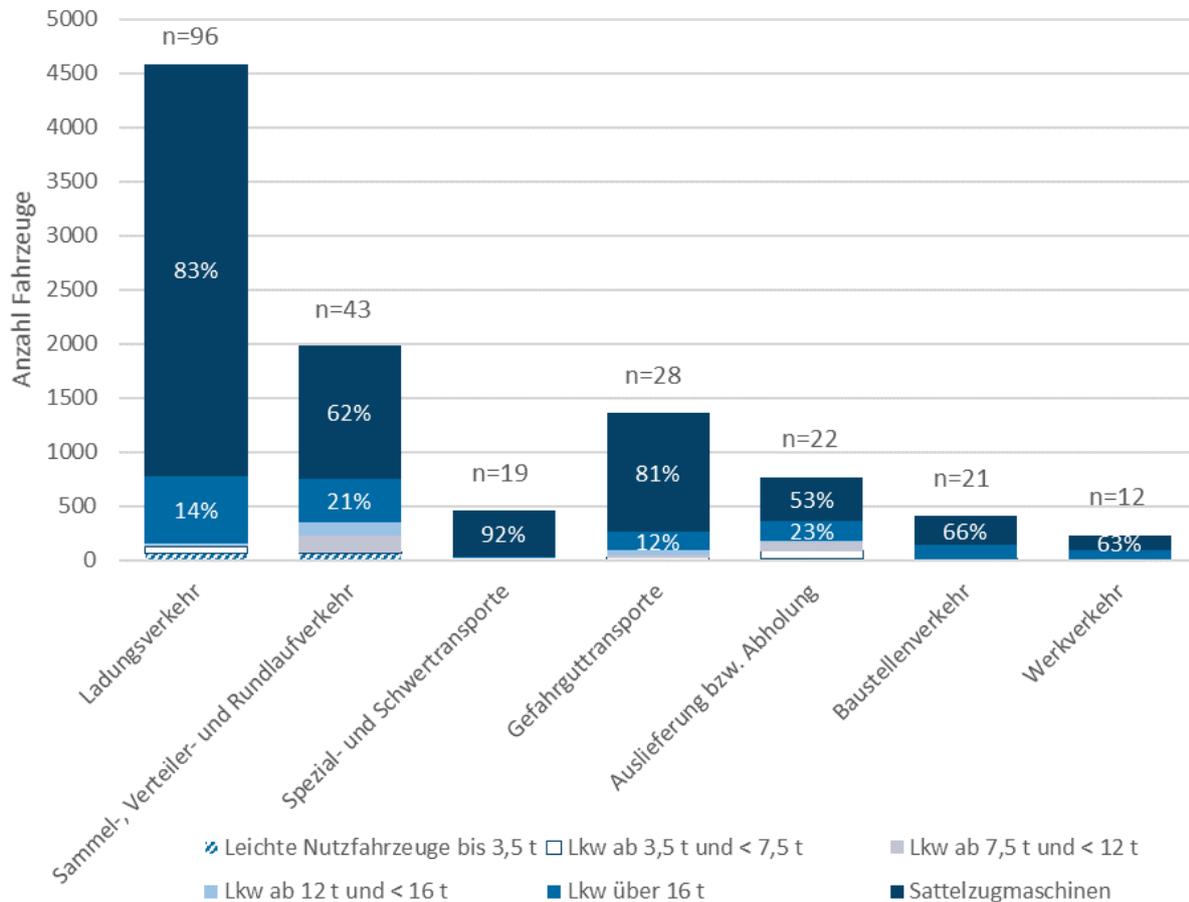


Quelle: Eigene Darstellung

Im Gegenschluss lässt sich folgern, dass die Haupteinsatzbereiche von schweren Nutzfahrzeugen und insbesondere Sattelzugmaschinen im Ladungs- und Sammelgutverkehr sowie in Gefahrguttransporten liegen, zumindest für die an der Befragung teilgenommenen Unternehmen. In Abbildung 4-3 ist die Verteilung der Fahrzeugkategorien in den vordefinierten Einsatzprofilen dargestellt. In den vorgenannten Einsatzprofilen sowie auch im Spezial- / Schwerverkehr und Werkverkehr ist der Anteil an Sattelzugmaschinen unter den Fahrzeugkategorien am größten. Werden ergänzend Lkw ab 16 Tonnen betrachtet, werden fast alle Einsatzprofile in den befragten Unternehmen nahezu vollständig abgedeckt. Ausnahmen mit heterogeneren Fahrzeugverteilungen zeigen sich im Sammelgutverkehr und in der Auslieferung bzw. Abholung. Selbst in der vom Speditionsgewerbe geprägten Befragung sind hier auch leichte Nutzfahrzeuge und Lkw unter 16 Tonnen Gesamtgewicht vertreten. In den übrigen Einsatzprofilen, speziell KEP, ist die Stichprobe zu gering, um gesicherte Aussagen zu treffen. Dass Spezial- und Schwertransporte nahezu vollständig mit Sattelzugmaschinen abgewickelt werden, dürfte allerdings trotz der geringen Stichprobe zutreffend sein. Die geringe Stichprobe für „Sonstige Verkehre“ lässt vermuten, dass die befragten Unternehmen ihre Geschäftstätigkeiten in den 10 vordefinierten Einsatzprofilen wiedergefunden haben.

Abbildung 4-3: Fahrzeugkategorien in den meistgenannten Einsatzprofilen (n = 116)

Originalfrage: Wie viele Fahrzeuge setzen Sie auf Ihren drei wichtigsten Einsatzprofilen ein?



Quelle: Eigene Darstellung

Reichweitenanforderung

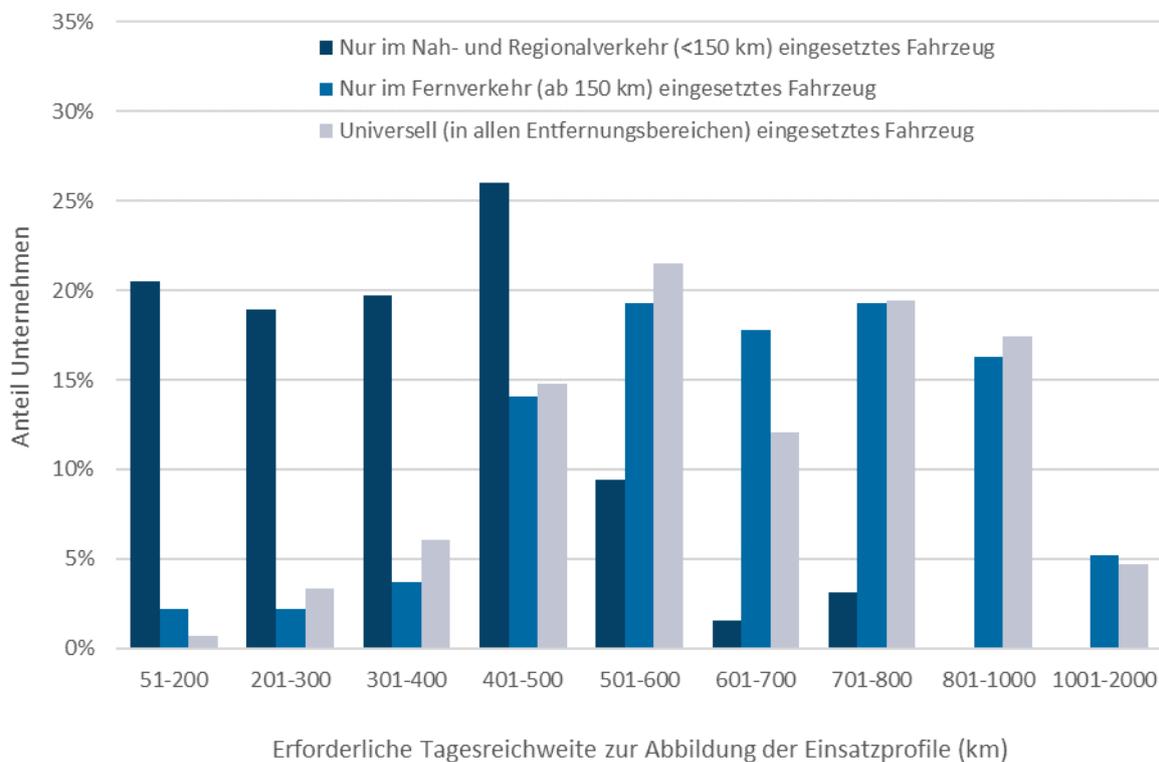
Eine für den Einsatz elektrischer Antriebe kritische Größe ist die erforderliche Tagesreichweite der Fahrzeuge. In der Befragung wird zwischen „Nur im Nah- und Regionalverkehr (<150 km) eingesetztes Fahrzeug“, „Nur im Fernverkehr (ab 150 km) eingesetztes Fahrzeug“ und „Universell (in allen Entfernungsbereichen eingesetztes Fahrzeug)“ unterschieden. Zusätzlich wurde erneut um eine Angabe in den jeweils drei wichtigsten Einsatzprofilen gebeten. Zunächst werden in Abbildung 4-4 die Häufigkeitsverteilungen über alle Einsatzprofile gezeigt. Als wichtiger Hinweis für die Interpretation sei noch angemerkt, dass nicht nach den mittleren Tagesfahrleistungen des Fahrzeugeinsatzes gefragt wird, sondern nach einer erforderlichen Tagesreichweite, um das jeweilige Einsatzprofil abdecken zu können. Die angegebene Werte stellen also Obergrenzen der Reichweitenanforderungen dar.

Im Nah- und Regionalverkehr wird im Durchschnitt eine Tagesfahrleistung von 390 km benötigt, um die Haupteinsatzprofile der befragten Unternehmen abbilden zu können. Rund 85 % der Unternehmen geben an, dass eine Tagesreichweite bis 500 km für den Fahrzeugeinsatz im Nah- und Regionalverkehr ausreichend sei. Knapp 60 % der Unternehmen können mit Tagesfahrleistungen von

400 km ihre Transportaufgaben im Nah- und Regionalverkehr erfüllen. Im Fernverkehr werden erwartungsgemäß höhere Tagesfahrleistungen benötigt. Im Durchschnitt ist für einen ausschließlichen Einsatz des Fahrzeugs im Fernverkehr eine Tagesfahrleistung von 710 km erforderlich, um die Haupteinsatzprofile in der Befragung abbilden zu können. Etwa 80 % der befragten Unternehmen geben an, mit einer Tagesfahrleistung bis 800 km den Fahrzeugbetrieb im Fernverkehr abbilden zu können. Für eine vollständige Abdeckung des Transportgeschäftes der befragten Unternehmen werden bis zu 1.500 km benötigt. Die Angaben für einen universellen Fahrzeugeinsatz liegen im Bereich der Reichweitenanforderungen für den Fernverkehr. Fahrzeuge mit einem flexiblen Einsatz in den Entfernungsbereichen müssten demnach für den Fernverkehr gerüstet sein, ohne das Fahrleistungspotenzial voll auszuschöpfen.

Abbildung 4-4: Erforderliche Tagesreichweiten des Fahrzeugeinsatzes (n = 60)

Originalfrage: Welche Tagesreichweite (in Kilometern) ist erforderlich, um Ihre Einsatzprofile abbilden zu können?

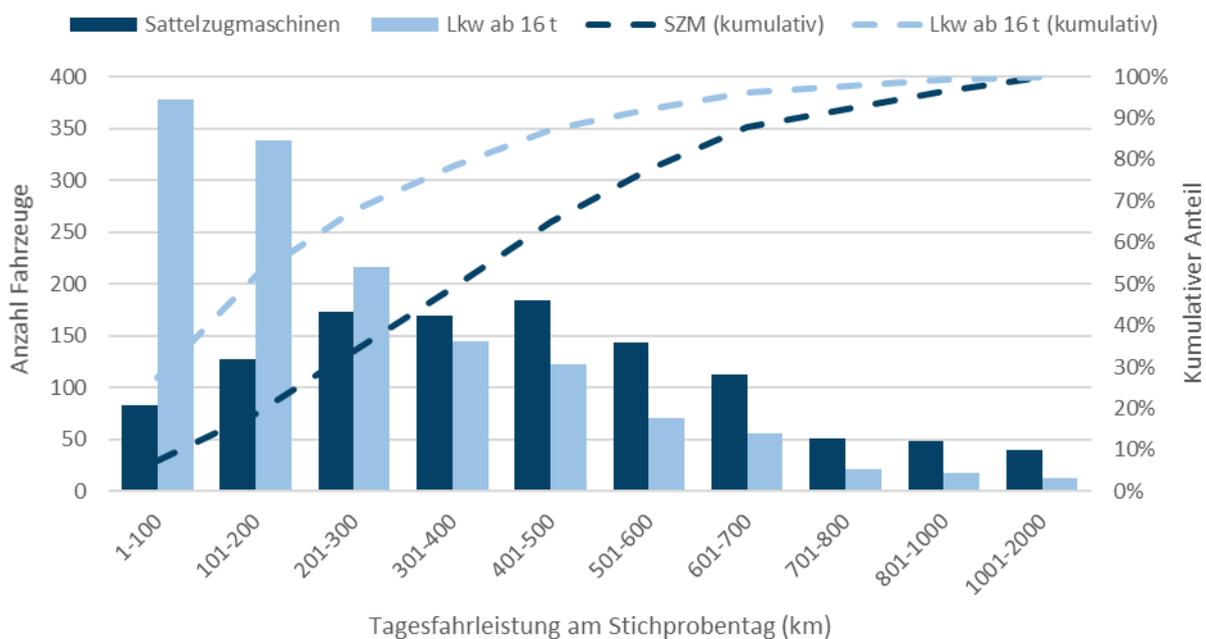


Quelle: Eigene Darstellung

Insgesamt haben 66 Unternehmen die Frage zur Reichweitenanforderung vollständig beantwortet. Bei fünf Unternehmen lagen die Antworten unterhalb und bei einem Unternehmen oberhalb des als Valide angesetzten Bereichs von 50 km bis 2.000 km, so dass die Stichprobengröße insgesamt 60 beträgt. Eine höhere Stichprobe wäre für verlässlichere Aussagen zu dieser kritischen Größe wünschenswert. Die vorliegenden Ergebnisse stimmen allerdings qualitativ gut mit vorherigen Erhebungen überein. Eine Erhebung von Fraunhofer ISI 2019 basiert auf insgesamt 63 Teilnehmenden mit schweren Lkw in der Unternehmensflotte. Etwa ein Drittel der Befragten gibt darin an, täglich im

Durchschnitt 100 km bis 400 km zu fahren, während nur knapp 5 % durchschnittliche Tagesfahrleistungen von über 800 km erzielen. Die in der im Jahr 2010 durchgeführten Erhebung „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland“ (BMVI 2010) erfassten Tagesfahrleistungen sind in Abbildung 4-5 dargestellt. Rund 50 % der Sattelzugmaschinen legten an den Stichprobentagen der Erhebung bis zu 400 km im Güterverkehr zurück. Über 90 % der Sattelzugmaschinen erreichten Tagesfahrleistungen bis 800 km. Die KiD2010 gibt einen wertvollen und ausführlichen Ausschnitt des Fahrzeugbetriebs wieder. Da sich die Erhebung auf einzelne Stichtage bezieht, kann sie allerdings nicht die notwendige Flexibilität der Fahrzeuge hinsichtlich variierender Transportdistanzen berücksichtigen. Die vorliegende Befragung zeigt, dass die überwiegende Mehrheit von 95 % der befragten Unternehmen eine Tagesreichweite von 1.000 km als ausreichend einschätzt, um ihre Transportaufgaben vollständig abdecken zu können.

Abbildung 4-5: Verteilung der Tagesfahrleistung von Sattelzugmaschinen (SZM) und Lkw ab 16 Tonnen in der Erhebung KiD2010 (Stichprobe: 2.509 Fahrzeuge)



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf #KiD2010

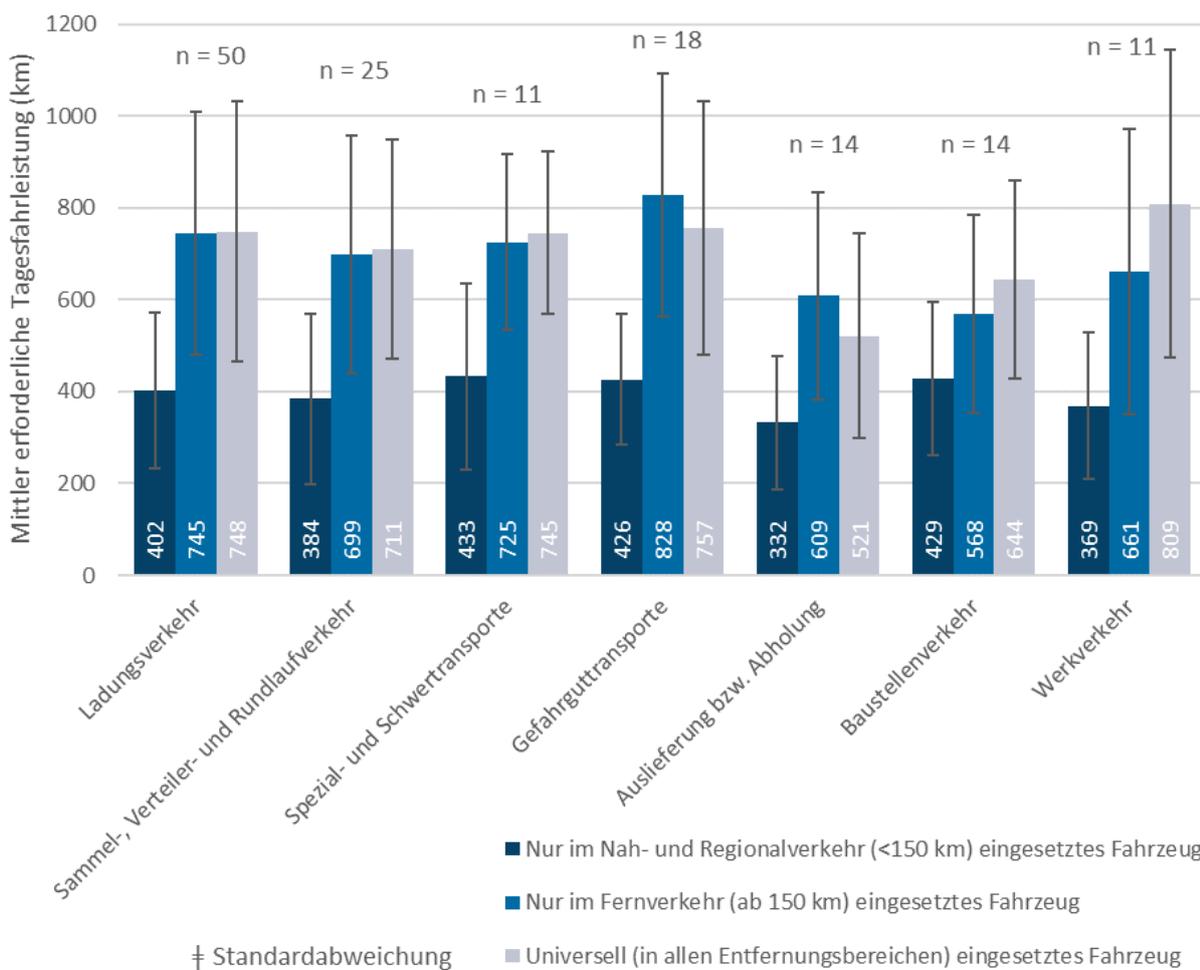
Trotz der relativ geringen Stichprobe in der vorliegenden Befragung lassen sich einige charakteristische Unterschiede zwischen den Einsatzprofilen erkennen. Abbildung 4-6 veranschaulicht die Antworten zur erforderlichen Tagesreichweite in den meistgenannten Einsatzprofilen. Die Balkenhöhen repräsentieren die Mittelwerte der Antworten und die Fehlerbalken geben über die Standardabweichung Aufschluss über die durchschnittlichen Schwankungen der Antworten um den Mittelwert. Die Standardabweichungen sind in allen Kategorien relativ hoch. Die Anforderungen sind in den Unternehmen demnach anscheinend sehr unterschiedlich, was auf eine Spezialisierung der Unternehmen auf bestimmte Transportdistanzen hindeuten könnte.

Die Unterschiede zwischen den Einsatzprofilen liegen größtenteils innerhalb der Schwankungsbereiche. Die folgenden Ergebnisse und Aussagen zu den einzelnen Einsatzprofilen sollten daher nicht

überbewertet werden. Die höchsten Anforderungen an die Tagesreichweite stellen die Gefahrguttransporte: Im Nah- und Regionalverkehr sind mindestens 280 km erforderlich und im Fernverkehr mindestens 560 km (bzw. im Mittel ca. 830 km). Ähnlich anspruchsvoll sind Spezial- und Schwertransporte, welche mindestens 640 km und im Mittel 725 km Tagesfahrleistung im Fernverkehr erfordern. Die speziellen Anforderungen an den Transport lassen unter Umständen weniger Flexibilität hinsichtlich multimodaler Transporte zu, wodurch lange Strecken auf der Straße zurückgelegt werden. Im Ladungsverkehr, welcher die größte Stichprobe und damit die höchste Validität der statistischen Daten aufweist, wird ein relativ breites Spektrum an Tagesfahrleistungen von ca. 500 km bis 1.000 km benötigt. Bezüglich der Reichweitenanforderungen weniger anspruchsvolle Einsatzbereiche finden sich zum Teil im Sammelgutverkehr sowie in der Auslieferung und Abholung. Wie oben bereits erwähnt, kommen in diesen Einsatzprofilen zum Teil auch leichtere Nutzfahrzeuge unter 16 Tonnen Gesamtgewicht zum Einsatz, die typischerweise geringere Fahrleistungen aufweisen.

Abbildung 4-6: Erforderliche Tagesfahrleistung in den Einsatzprofilen (n = 60)

Originalfrage: Welche Tagesreichweite (in Kilometern) ist erforderlich, um Ihre Einsatzprofile abbilden zu können?



Quelle: Eigene Darstellung

Mit Blick auf den Einsatz batterieelektrischer Lkw im Nah- und Regionalverkehr zeigt sich, dass die Reichweiten verfügbarer Fahrzeugmodelle von 200-300 km für 40 % der befragten Unternehmen einen Fahrzeugbetrieb ohne Zwischenladung ermöglichen. Wenn im Einsatzprofil eine Zwischenladung für weitere 100 km Reichweite realisiert werden kann, können weitere 20 % der befragten Unternehmen ihre Transportaufgaben potenziell mit verfügbaren batterieelektrischen Lkw abbilden. Voraussetzung ist allerdings die Möglichkeit, das Batteriesystem vor dem Fahrzeugeinsatz vollständig aufladen zu können, beispielsweise über Nacht im Depot. Im Jahr 2030 wird erwartet, dass auch schwere Sattelzugmaschinen Reichweiten von 500 km ohne Nutzlastverluste erreichen können (ICCT 2021a). Spätestens dann könnte der Nah- und Regionalverkehr zumindest unter dem Aspekt der Reichweitenanforderungen nahezu vollständig elektrifiziert werden. Im Fernverkehr bietet sich für 20 % der befragten Unternehmen mit Reichweitenanforderungen bis 500 km in Richtung 2030 ein Potenzial, batterieelektrische Sattelzugmaschinen einsetzen zu können. Für die Mehrheit der befragten Unternehmen wird eine mögliche Elektrifizierung der Fernverkehrsflotten wesentlich von den Entwicklungen in den kommenden Jahren im Bereich der Hochleistungsschnellladesysteme, Oberleitungs-Systeme zum dynamischen Nachladen während der Fahrt sowie von Fortschritten wasserstoffbasierter Antriebe abhängen (vgl. BMVI 2020).

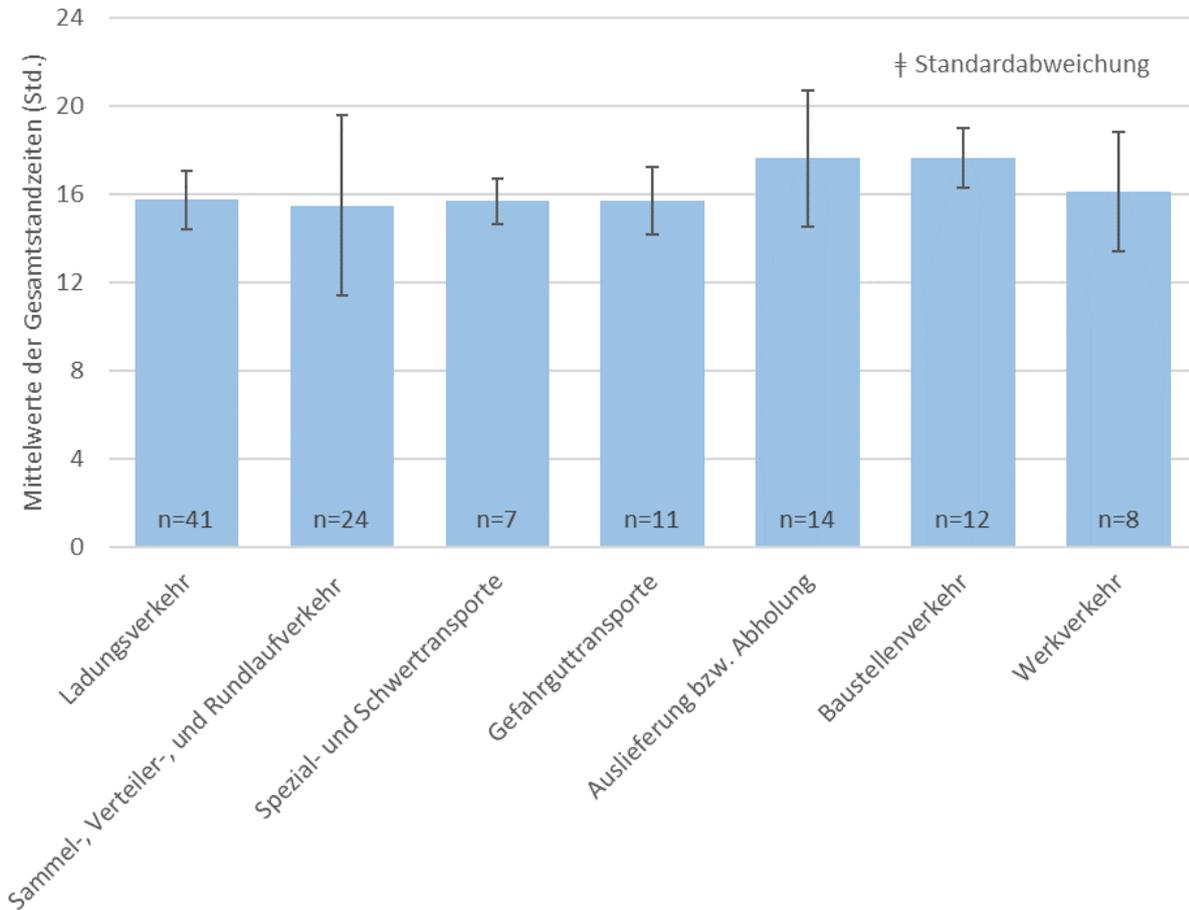
Typische Standzeiten

Die zuvor diskutierten zum Teil hohen Reichweitenanforderungen werden sehr wahrscheinlich auch mittelfristig betriebstäglich ein- bis mehrmalige Ladevorgänge elektrischer Lkw erforderlich machen. Als weiteres Merkmal werden daher die üblichen Standzeiten während des Fahrzeugeinsatzes näher betrachtet, um mögliche Rückschlüsse auf geeignete Ladeprofile zu ermöglichen. In der Befragung wurden die Unternehmen gebeten, in ihren drei wichtigsten Einsatzprofilen die durchschnittliche tägliche Fahrzeug-Einsatzzeit aus folgenden Kategorien zusammensetzen: „Reine Fahrzeit“, „Stau“, „Standzeiten aufgrund von Pausen/Ruhezeiten“, „Standzeit bei der Beladung“, „Standzeit bei der Entladung“, „Wartezeit vor Be- und Entladezonen“ und „Andere Standzeiten“. Es werden nur Antworten gewertet, bei denen sich die angegebenen Werte auf 24 Stunden summieren. Die Stichprobengröße „n“ in den einzelnen Einsatzprofilen ist in Abbildung 4-7 angegeben.

Die Vielzahl an Kategorien in Kombination mit den vielseitigen Fahrzeugeinsätzen und der geringen Stichprobe führt naturgemäß zu hohen Schwankungen für die Zeitangaben in den einzelnen Kategorien. Abbildung 4-7 zeigt daher zunächst die durchschnittliche Gesamtstandzeit als Summe aller Kategorien außer „Reine Fahrzeit“ und „Stau“. Im Ergebnis wird die übliche tägliche Fahrzeug-Standzeit in allen Einsatzprofilen mit durchschnittlich rund 16 Stunden angegeben. Die Standardabweichungen der summierten Standzeiten sind in den meisten Einsatzprofilen mit etwa +/-1,5 Stunden relativ gering. Auch in Ladungs- bzw. Direktverkehren mit tendenziell wenigen tourenbedingten Zwischenstopps scheinen demnach potenzielle Zeitfenster zum Nachladen zur Verfügung zu stehen. Im Sammelgutverkehr sowie in der Auslieferung / Abholung zeigt sich erneut die Heterogenität des Fahrzeugeinsatzes, hier liegt die Standardabweichung der Gesamtstandzeit bei +/-3-4 Stunden. Ein Mehrschichtbetrieb, in welchem die Fahrzeuge weit über 8 Stunden ausgelastet werden, wird von den befragten Unternehmen demnach zumindest nicht als üblicher bzw. „durchschnittliche tägliche Fahrzeug-Einsatzzeit“ gewertet.

Abbildung 4-7: Gesamtstandzeiten in den meistgenannten Einsatzprofilen (n = 46)

Originalfrage: Wie setzt sich für Ihre drei wichtigsten Einsatzprofile die durchschnittliche tägliche Fahrzeug-Einsatzzeit – bezogen auf einen 24-Stunden-Tag – zusammen?



Quelle: Eigene Darstellung

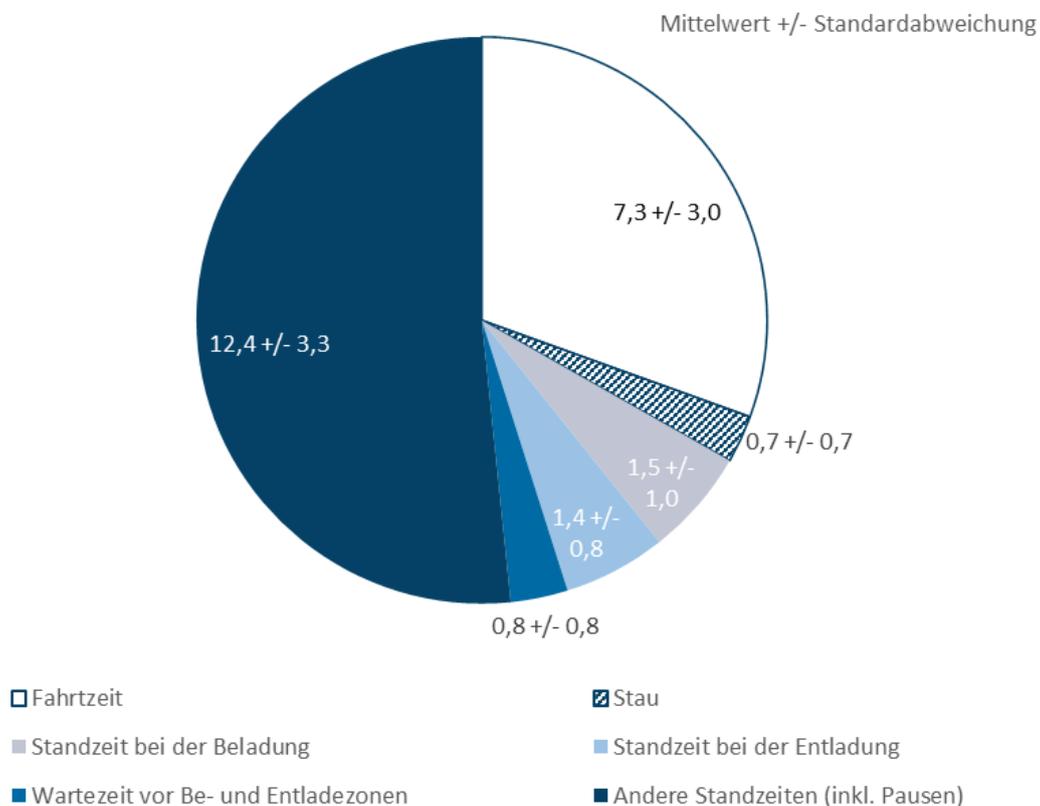
Im Durchschnitt setzen sich die Standzeiten in den Einsatzprofilen sehr ähnlich aus den vordefinierten Kategorien zusammen. Abbildung 4-8 zeigt daher wie die befragten Unternehmen im Durchschnitt der gesamten Stichprobe die tägliche Fahrzeug-Einsatzzeit aufgliedern. Da die Kategorien „Standzeiten aufgrund von Pausen/Ruhezeiten“ und „Andere Standzeiten“ einzeln betrachtet hohe Schwankungen, in Summe jedoch relativ geringe Streuungen aufweisen, werden sie hier zusammen dargestellt. Offenbar waren die beiden Kategorien intuitiv nicht leicht zu trennen. Gemeinsam machen die Standzeiten aufgrund von Pausen, Ruhezeiten und anderen Gründen nach Einschätzung der befragten Unternehmen rund die Hälfte der durchschnittlichen täglichen Fahrzeug-Einsatzzeit aus. Hier zeigt sich das Potenzial von langsamen Ladevorgängen bei moderaten Leistungen für typische Fahrzeugeinsätze, wobei beachtet werden muss, dass die in Abbildung 4-7 und Abbildung 4-8 aufgeführten Standzeiten nicht am Stück, sondern über den Tag verteilt erfolgen können. Standzeiten bei der Be- und Entladung betragen jeweils im Durchschnitt weitere 1,5 Stunden. Insbesondere planbare Aufenthalte bieten ein mögliches Zeitfenster zum Nachladen. Die nicht planbaren Standzeiten wie Staus und Wartezeiten vor den Be- und Entladezonen machen im Durchschnitt nur

einen geringen Anteil an der typischen täglichen Einsatzzeit aus. Um einen verlässlichen Fahrzeugeinsatz zu garantieren, muss zudem ein Reichweiten-Puffer in der Routenplanung berücksichtigt werden.

In der Erhebung von Fraunhofer ISI 2019 gibt ebenfalls die Mehrheit von 62 % der befragten Unternehmen typische Standzeiten von 8 bis 12 Stunden an. Während in der vorliegenden Befragung alle befragten Unternehmen Standzeiten von mindestens 8 Stunden genannt haben, werden in Kluschke et al. (Fraunhofer ISI 2019) die Standzeiten von 20 % der Unternehmen mit 4 bis 8 Stunden und von 18 % der Unternehmen mit typischerweise unter 4 Stunden beziffert. Die geringen Standzeiten resultieren aus einem Mehrschichtbetrieb: 31 % der Unternehmen arbeiten in der Erhebung von Fraunhofer ISI 2019 im Zweischichtbetrieb. Die Mehrheit der Transportunternehmen setzt ihre Fahrzeuge in beiden Erhebungen allerdings im Einschichtbetrieb ein, mit wahrscheinlich langen Standzeiten über Nacht im Depot. Eine Analyse von Lkw-Halten auf Basis von Herstellerdaten zeigt, dass die Halte überwiegend entweder kurz (unterhalb von 3 Stunden) oder mit über 8 Stunden relativ lang ausfallen, dass also sehr wenige Halte zwischen 3 und 8 Stunden dauern (Fraunhofer ISI 2021a). Die in der vorliegenden Befragung lange Gesamtstandzeit für „Andere Standzeiten (inkl. Pausen)“ teilt sich also wahrscheinlich in einen längeren Block von über 8 Stunden und kürzere Pausen- und Ruhezeiten von unter 3 Stunden am Stück.

Abbildung 4-8: Durchschnittliche Einsatzzeiten über alle Einsatzprofile (n = 46)

Originalfrage: Wie setzt sich für Ihre drei wichtigsten Einsatzprofile die durchschnittliche tägliche Fahrzeug-Einsatzzeit – bezogen auf einen 24-Stunden-Tag – zusammen?



Quelle: Eigene Darstellung

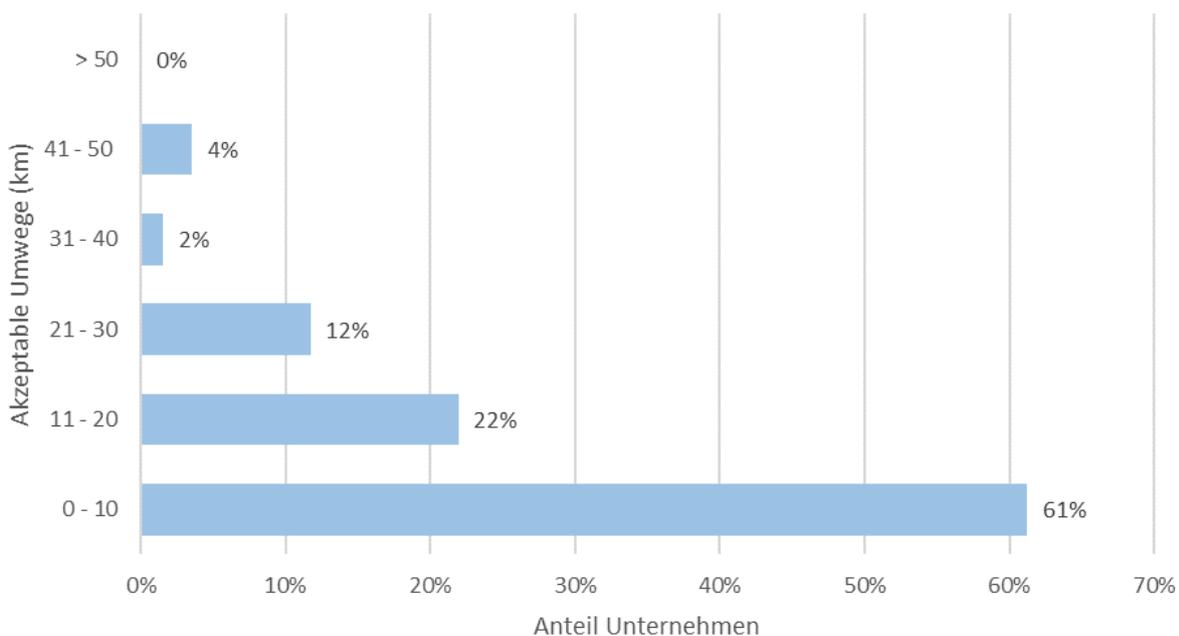
Insgesamt scheinen sich typischerweise längere Zeitfenster zum Nachladen zu bieten. Allerdings können die vorliegenden Daten nur einen groben Eindruck der kumulierten Aufenthaltsdauern geben. Inwieweit sich die Zeitfenster zum Nachladen eignen, hängt von der Planbarkeit der Halte sowie der Lademöglichkeit und -verfügbarkeit am Standort ab. Eine weitere Herausforderung besteht in der nötigen Flexibilität des Fahrzeugeinsatzes auch Transporte bedienen zu können, die von den hier abgefragten typischen Einsatzmustern abweichen. Die insgesamt relativ geringe Streuung der Antworten verbunden mit hohen ermittelten Standzeiten deutet allerdings auf ein hohes Potenzial für Lademöglichkeiten.

Umwege für Tank-/Ladeinfrastrukturen

Mit Blick auf Einsatzmuster, in welchen betriebsbedingte Standzeiten nicht zum Laden genutzt werden können, stellt sich die Frage nach der Akzeptanz von Umwegen zum Aufladen und -tanken. In der vorliegenden Befragung wurden die Transportunternehmen gebeten anzugeben, wie hoch der maximale Umweg in einer Tagestour sein dürfte, den sie für das Erreichen einer Tank-/Ladeinfrastruktur für alternative Energien in Kauf nehmen würden. Die Verteilung der Antworten ist in Abbildung 4-9, gebündelt in 10-km-Intervallen, dargestellt. Über 60 % der befragten Unternehmen sind nicht bzw. nur geringfügig bereit, Umwege bis zu 10 km in Kauf zu nehmen. Für weitere rund 20 % der Unternehmen sind Umwege von 11 bis 20 km akzeptabel. Der Median von 10 km liegt in der vorliegenden Befragung damit noch unter der Erhebung von Fraunhofer ISI 2019, in welcher ein Median von 20 km angegeben wird. Eine Regressionsanalyse mit den Angaben zur Tagesreichweite zeigte keinen signifikanten Zusammenhang. Die Angaben zu akzeptierten Umwegen sind also absolut zu sehen und nicht etwa relativ zur Tagesfahrleistung.

Abbildung 4-9: Maximal zulässiger Umweg der Tagestouren (in km) (n = 78)

Originalfrage: Wie hoch dürfte der maximale Umweg in Ihren Tagestouren sein, den Sie für das Erreichen einer Tank-/Ladeinfrastruktur für alternative Energien in Kauf nehmen würden?



Quelle: Eigene Darstellung

Der Einsatz von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben wird demnach nur dann attraktiv, wenn ein engmaschiges Energieversorgungsnetz zur Verfügung steht. Dieses muss idealerweise in nur geringer Entfernung der geplanten Routen (nur für 40 % der Unternehmen wären auch Entfernungen von über 10 km akzeptabel) oder an ohnehin angefahrenen Zielorten (z. B. Depot, Umschlagpunkt) liegen (über 35 % erwarten eine Infrastruktur in max. 5 km Entfernung).

Nutzlast, Laderaum und Anteil Leerfahrten

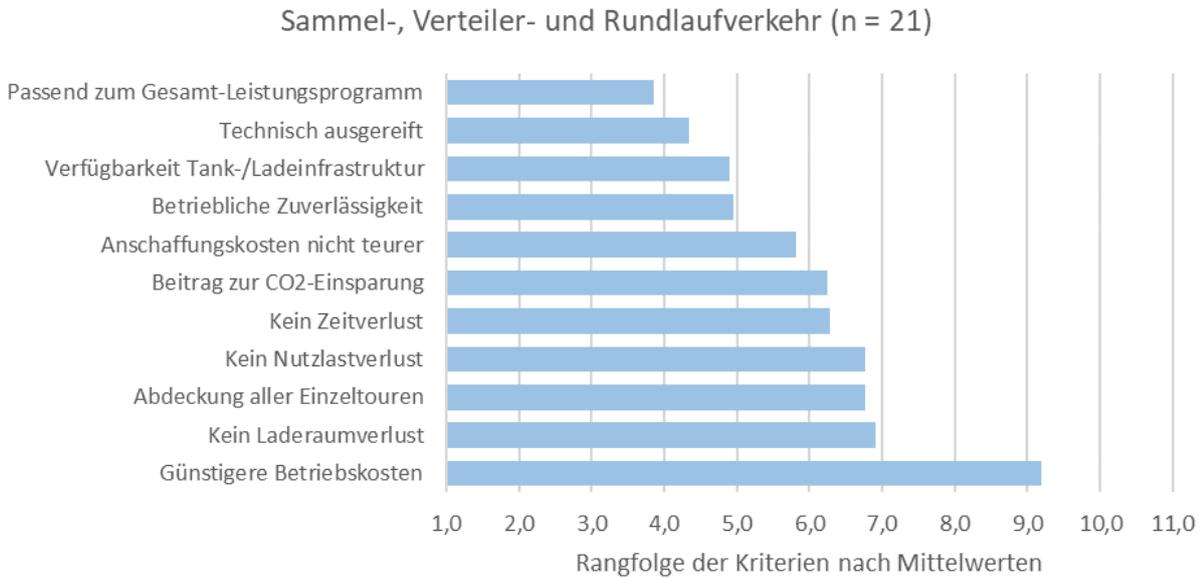
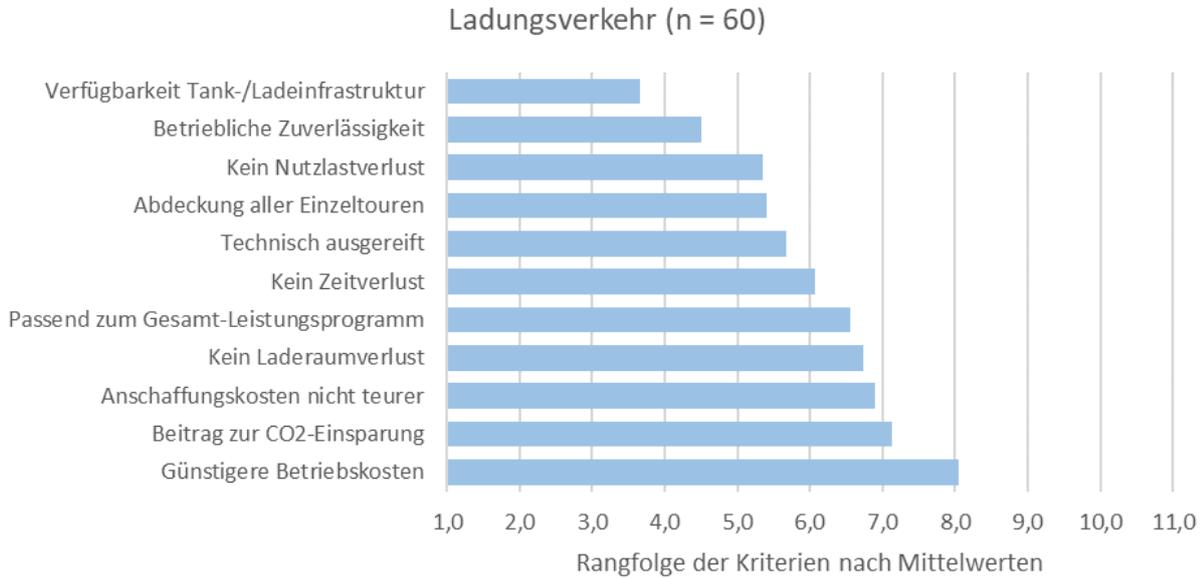
Die Relevanz von möglichen Nutzlast- oder Laderaumverlusten wird nur qualitativ adressiert. Zuvor wurde in Abbildung 3-4 bereits die Relevanz ausgewählter Kriterien bei der Umstellung des Fuhrparks auf alternative Kraftstoff- und Antriebskonzepte vorgestellt. In Abbildung 4-10 werden die Antworten gesondert nach dem Haupteinsatzprofil der befragten Unternehmen dargestellt. Aufgrund der geringen Stichprobe in anderen Einsatzprofilen wird auf den Ladungsverkehr und den Sammelgutverkehr fokussiert. Die dargestellte Rangfolge ergibt sich aus den Mittelwerten der Antworten in dem jeweiligen Einsatzprofil, beginnend mit dem am höchsten gewichteten Kriterium oben. Im Ladungsverkehr liegt das Kriterium „kein Nutzlastverlust“ gegenüber Diesel-Lkw auf dem dritten Platz hinter „Verfügbarkeit Tank-/Ladeinfrastruktur“ und „Betriebliche Zuverlässigkeit“. Das Kriterium „kein Laderaumverlust“ wird mit dem 8. Platz als weniger relevant eingestuft. Im Sammel-, Verteiler- und Rundlaufverkehr spielen für die befragten Unternehmen sowohl Nutzlastverluste als auch potenzielle Laderaumverluste eine geringere Rolle. Am wichtigsten ist den Unternehmen, dass alternative Fahrzeugmodelle zum Gesamt-Leistungsprogramm passen.

Potenzielle Nutzlastverluste sind demnach insbesondere in den Einsatzprofilen entscheidend, in denen auch hohe Reichweitenanforderungen existieren. Auch die Verfügbarkeit von alternativer Tank- und Ladeinfrastruktur sowie die betriebliche Zuverlässigkeit zielen in Richtung Reichweite. Wie bereits im Abschnitt zur Reichweitenanforderung beschrieben, werden Elektrifizierungspotenziale im Ladungsverkehr stark von den technischen Entwicklungen und möglichen Innovationen der Logistik in den kommenden Jahren abhängen. Im Sammelgutverkehr könnte der Trade-off aus Reichweite und Nutzlast für Batterie-Lkw eher zugunsten der Reichweite genutzt werden, um frühzeitig Elektrifizierungspotenziale zu heben.

Der Anteil an Leerfahrten wird zwischen 20-30 % angegeben. Sammelgutverkehre weisen tendenziell geringere Leerfahrten-Anteile auf, können also besser ausgelastet werden, während Gefahrguttransporte, Spezial-/Schwertransporte und Baustellenverkehre im Durchschnitt höhere Anteile an Leerfahrten von 30 % aufweisen.

Abbildung 4-10: Relevanz ausgewählter Kriterien bei der Umstellung des Fuhrparks auf alternative Kraftstoff- und Antriebskonzepte im Haupteinsatzprofil

Originalfrage: vgl. Abbildung 3-4



Quelle: Eigene Darstellung

4.2. Anforderungen an die Fahrzeuganschaffung

In diesem Abschnitt werden unterschiedliche Anforderungen beleuchtet, die bei der Fahrzeuganschaffung relevant sind. Marktpotenziale neuer Fahrzeugtechnologien werden in der Regel auf Basis von Analysen der Gesamtkosten (Total Cost of Ownership, TCO) abgeleitet. In der Befragung wurden weitere Kriterien adressiert, die für eine Neuanschaffung von Transportfahrzeugen eine Rolle spielen könnten. Darüber hinaus werden Merkmale erfragt, die für Kostenkalkulationen und TCO-gestützte Modellierungen relevant sind:

- Kriterien der Kaufentscheidung
- Verfahren der Kostenkalkulation
- Verhältnis von Kauf- und Leasing-Finanzierungen
- Kalkulatorische Nutzungsdauer
- Weiternutzung der Fahrzeuge nach kalkulatorischer Nutzung
- Restwertermittlung und -risiko

Die meisten der hier diskutierten Fragen beziehen sich auf den aktuellen Fuhrpark der Unternehmen, lassen jedoch Schlüsse für die Anschaffung von Fahrzeugen mit alternativen Antriebs- und Kraftstofftechnologien zu.

Kriterien für die Kaufentscheidung

Die Relevanz verschiedener Kriterien bei der Neuanschaffung von Transportfahrzeugen wurde anhand von dreizehn vorformulierten Aussagen adressiert. Insgesamt haben 93 Unternehmen die zur Auswahl gestellten Kriterien in den vier Stufen „relevant“, „eher relevant“, „eher irrelevant“ und „irrelevant“ bewertet. Die Ergebnisse in Abbildung 4-11 zeigen, dass bei den befragten Unternehmen das Kriterium „Zuverlässigkeit“ eine herausragende Rolle spielt und von 98 % der Unternehmen als „relevant“ eingeordnet wird. Dies deckt sich auch mit der Relevanz des Kriteriums „Zuverlässigkeit“ für eine Umstellung auf Fahrzeuge mit alternativen Antrieben in Abbildung 3-4.

Das zweitwichtigste Kriterium für die Neuanschaffung sind laut der Befragung die „Gesamtkosten“, nahe gefolgt von der „Kompatibilität mit [den] Einsatzprofilen“. Eine TCO-basierte Abschätzung von Marktpotenzialen scheint also legitim, sofern die technischen Anforderungen an den Einsatzzweck erfüllt sind. Die Zuverlässigkeit ist schwieriger zu bewerten und basiert womöglich überwiegend auf Erfahrungswerten, die für neue Fahrzeugtechnologien von den Anwenderinnen und Anwendern noch aufzubauen sind.

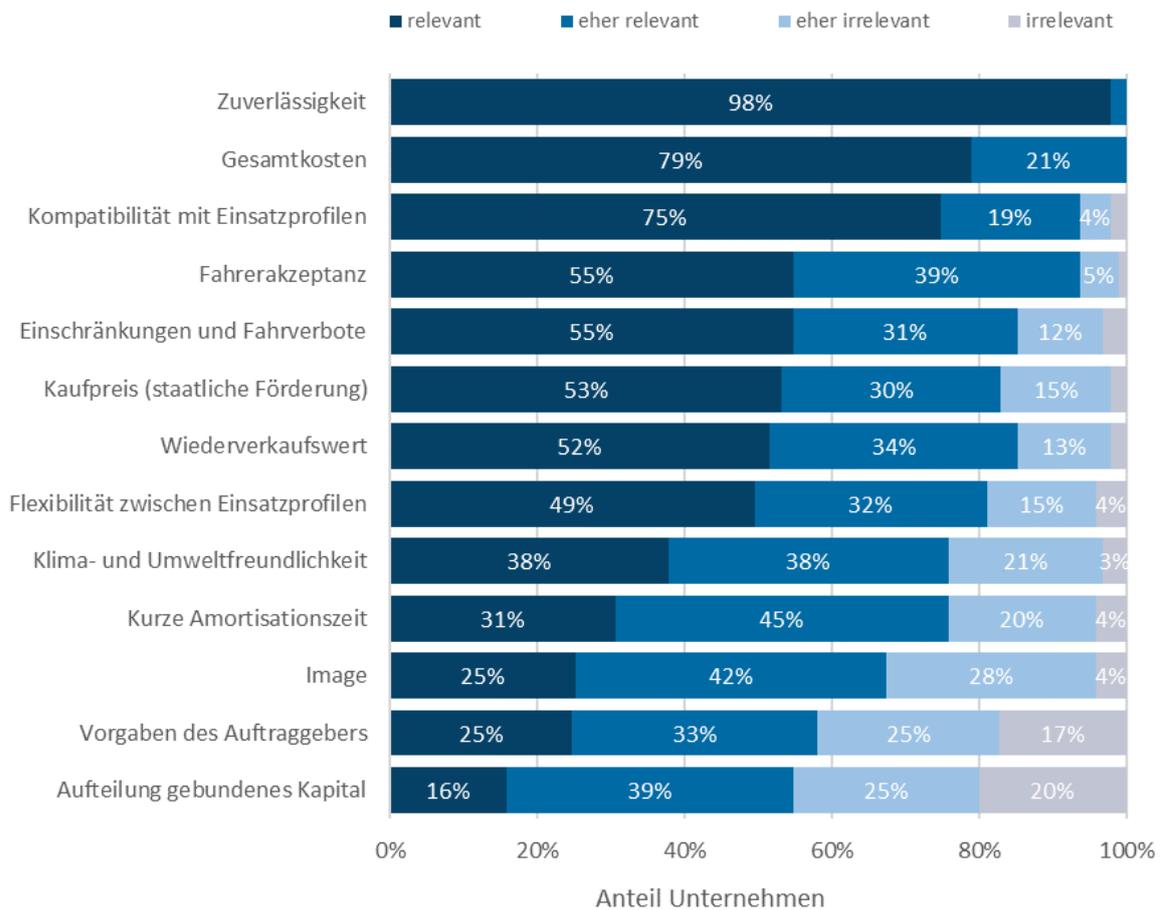
Weitere relevante Aspekte sind für etwa die Hälfte der befragten Unternehmen die „Fahrerakzeptanz“, „Einschränkungen und Fahrverbote“, der „Kaufpreis“ bei Berücksichtigung staatlicher Förderung, der potentielle „Wiederverkaufswert“ des Fahrzeugs und die „Flexibilität“, das Fahrzeug in verschiedenen Einsatzprofilen einsetzen zu können.

Die „Klima- und Umweltfreundlichkeit“ des Neufahrzeugs spielt für knapp 40 % der befragten Unternehmen eine relevante Rolle. Entscheidend dürften also eher günstige Bedingungen in den zuvor genannten Kriterien sein, um die Anschaffung klimaschonender Fahrzeuge zu fördern. Bezüglich der monetären Anreize scheint zumindest eine kurze Amortisationszeit der Kaufinvestition nicht ausschlaggebend für die Kaufentscheidung zu sein. Eine Amortisation spätestens über die Abschreibebzw. Nutzungsdauer wird auch bei klimaschonenden Antrieben vermutlich akzeptiert werden. Als weniger relevant werden von den vorformulierten Kriterien das „Image“, „Vorgaben des Auftraggebers“ und die „Aufteilung [des] gebundenen Kapitals“ in gekaufte und geleaste Fahrzeuge bewertet.

Insgesamt steht also bei der Kaufentscheidung im Vordergrund, wie verlässlich und wirtschaftlich das Neufahrzeug voraussichtlich eingesetzt werden kann.

Abbildung 4-11: Relevanz von Kriterien bei der Fahrzeug-Neuanschaffung (n = 93)

Originalfrage: Wie relevant sind für Sie die folgenden Kriterien bei der Anschaffung eines Nutzfahrzeugs?

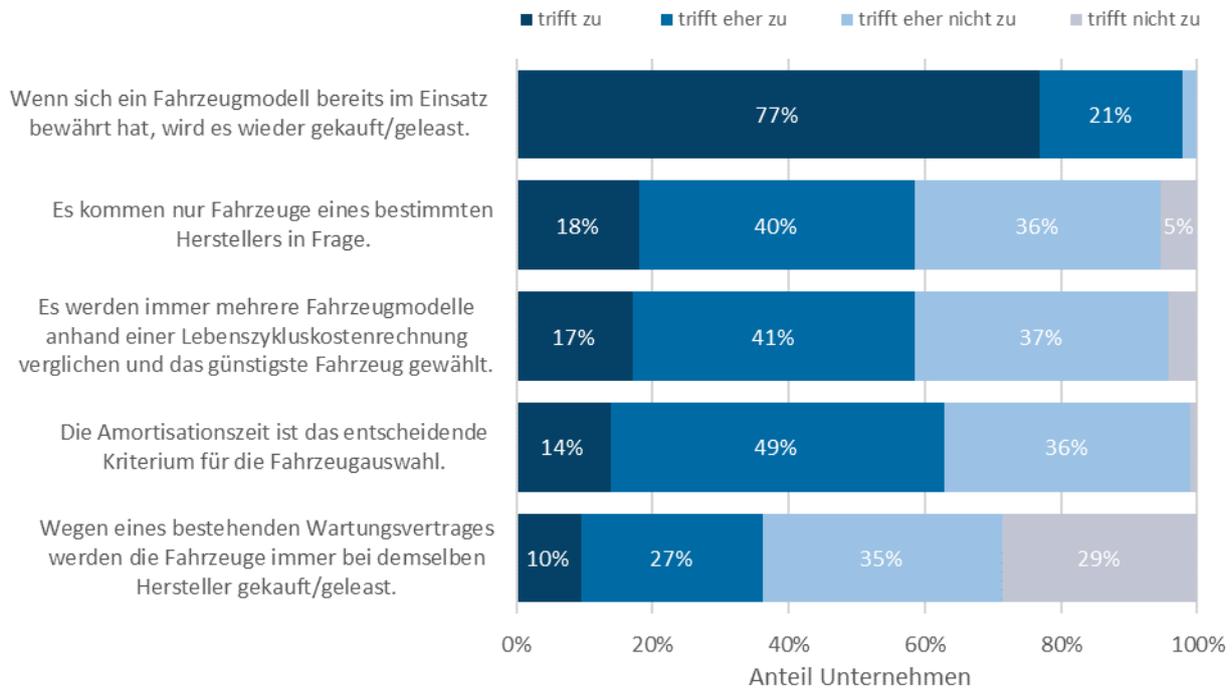


Quelle: Eigene Darstellung

In einer weiteren Frage wurden die Unternehmen gebeten, fünf vorformulierte Aussagen zur Fuhrparkfinanzierung zu beurteilen. Nahezu 80 % der Befragten gaben dabei an, bei der Beschaffung auf bewährte Fahrzeugmodelle zurückzugreifen, die sie bereits im Einsatz hatten (vgl. Abbildung 4-12). Auch die Präferenz eines bestimmten Händlers spielt neben einer vergleichenden Lebenszykluskostenrechnung und der Amortisationszeit des Fahrzeuges für ca. 15-20 % der Unternehmen eine relevante Rolle. Es sei angemerkt, dass die Gesamtkosten ein wichtiges Kriterium für die Kaufentscheidung sind (vgl. Abbildung 4-11), aber nicht notwendigerweise bei jeder Neuanschaffung mehrere Modelle mit einer Kostenrechnung verglichen werden. Rechnet sich ein bewährtes Fahrzeugmodell, wird es wahrscheinlich wiedergekauft. Diese Präferenz, ein bewährtes, bereits eingesetztes Fahrzeugmodell zu kaufen, stellt ein mögliches Hemmnis bei der Umstellung auf klimaschonende Antriebe dar, da – wie bereits im vorherigen Abschnitt erwähnt – zunächst das Vertrauen in neuartige Fahrzeugtechnologien aufgebaut werden muss. Allerdings geht das Interesse an alternativen Antrieben in den meisten Unternehmen voraussichtlich auch mit einer Offenheit gegenüber anderen Fahrzeugmodellen und Händlern einher.

Abbildung 4-12: Einschätzungen zur Fuhrparkfinanzierung (n = 94)

Originalfrage: Bitte beurteilen Sie die nachfolgenden Einschätzungen zur Fuhrparkfinanzierung!



Quelle: Eigene Darstellung

Kostenkalkulation und Anteil Leasing- zu Kauffahrzeugen

Für die Finanzierung eines Fuhrparks sind die Fahrzeugkostenkalkulation und deren einzelne Bestandteile essenziell. Als Verfahren der Fahrzeugkostenkalkulation gaben 52 % der Teilnehmenden an, die BGL-Fahrzeugkostenrechnung oder einen ähnlichen Ansatz zu nutzen. Beantwortet wurde die Frage von 80 Unternehmen. Die übrigen Unternehmen verwenden häufig eigene Kalkulationen, basierend auf der betrieblichen Buchhaltung und Erfahrungswerten.

Neben Annahmen zu wesentlichen Kostenparametern – wie u.a. Energiekosten, Nutzungsdauern und Restwerten - ist es für die Ermittlung der Gesamtkosten hilfreich zu wissen, ob ein Fahrzeug gekauft oder geleast wird. Zur Ermittlung der aktuell bevorzugten Finanzierungsform wurden die Teilnehmenden in der Befragung gebeten, für ihre häufigsten Einsatzprofile die Zahlen von gekauften und geleasten Fahrzeugen aufzuschlüsseln. Im Ergebnis lässt sich feststellen, dass die Unternehmen derzeit den Fahrzeugkauf gegenüber der Leasingvariante bevorzugen. Insgesamt wurden von 65 Transportunternehmen 3.580 gekaufte Fahrzeuge und gerade einmal 404 Leasing-Fahrzeuge angegeben. Dies entspricht einem Anteil gekaufter Fahrzeuge von 90 %.

Kalkulatorische Nutzungsdauer

Als kalkulatorische Nutzungsdauer wird die Zeitspanne bezeichnet, in welcher das Fahrzeug für den bei der Anschaffung angestrebten Einsatzzweck voraussichtlich genutzt werden kann. Für die Kostenkalkulation wird in der Regel eine Amortisation der Fahrzeuganschaffungskosten spätestens über die kalkulatorische Nutzungsdauer erwartet. Zudem orientiert sich die gesetzlich erlaubte Abschreibungsdauer an der gewöhnlichen Nutzungsdauer im Betrieb. Derzeit liegt die Nutzungsdauer laut

AfA-Tabelle für Lkw und Sattelschlepper „für die allgemein verwendbaren Anlagegüter“ bei 9 Jahren; für spezielle Einsatzgebiete von schweren Nutzfahrzeugen ist die Nutzungsdauer laut AfA-Tabelle mit 3-5 Jahren geringer (BMF 2000).

Laut der vorliegenden Erhebung sinkt die durchschnittliche kalkulatorische Nutzungsdauer schwerer Nutzfahrzeuge mit ihrem zulässigen Gesamtgewicht (vgl. Tabelle 4-1). Während Nutzfahrzeuge bis 7,5 t im Schnitt 7,4 Jahre im Fuhrpark verbleiben, haben Sattelzugmaschinen lediglich eine Nutzungsdauer von durchschnittlich 5,6 Jahren. Grund ist die in der Regel mit dem zulässigen Gesamtgewicht steigende Fahrleistung der Transportfahrzeuge, die entsprechende Abnutzungen mit sich bringt. Die Nutzungsdauer von 5-6 Jahren in einer ersten kalkulierten Nutzungsphase des Fahrzeugs deckt sich mit den Annahmen zahlreicher Studien zur Kostenabschätzung von Sattelzugmaschinen mit Einsatz im Fernverkehr (vgl. u.a. T&E 2021a, ICCT 2021b, Öko-Institut 2018).

Trailer und Anhänger werden hingegen länger genutzt als die Fahrzeuge – diese werden zwischen neun und zehn Jahren eingesetzt. Sollten für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben feste Kombinationen von Sattelzugmaschinen und Sattelaufliegern geplant werden, um beispielsweise Energiespeicher unterzubringen, sind die unterschiedlichen Nutzungsdauern zu berücksichtigen. Ein Austausch der Sattelzugmaschine muss gewährleistet bleiben und entsprechend Schnittstellen definiert oder standardisiert sein. Für die alternativen Antriebsoptionen Batterie-Lkw, Oberleitungs-Lkw oder Wasserstoff-Lkw deuten bisherige technische Entwicklungen dahin, dass die benötigten Antriebskomponenten samt Batteriesystemen oder Wasserstofftanks in der Sattelzugmaschine untergebracht werden können. Womöglich wird es für die ersten Fahrzeugmodelle allerdings platztechnisch weniger Flexibilität bei der Konfiguration der Fahrerkabine geben.

Tabelle 4-1: Kalkulatorische Nutzungsdauer nach Fahrzeugklassen (n = 70)

Originalfrage: Wie viele Jahre umfasst die kalkulatorische Nutzungsdauer Ihrer Neufahrzeuge?

Fahrzeugklassen	Nutzungsdauer
Leichte Nutzfahrzeuge bis 3,5 t	7,1 Jahre
Lkw ab 3,5 t und < 7,5 t	7,4 Jahre
Lkw ab 7,5 t und < 12 t	6,7 Jahre
Lkw ab 12 t und < 16 t	6,1 Jahre
Lkw ab 16 t	6,3 Jahre
Sattelzugmaschinen	5,6 Jahre
Trailer	9,4 Jahre
Anhänger	10,2 Jahre

Quelle: Eigene Darstellung

Eine Betrachtung der Schadstoffklassen der zugelassenen Nutzfahrzeuge zeigt, dass die tatsächliche Einsatzdauer für Lkw zum Teil deutlich über der durchschnittlichen kalkulatorischen Nutzungs-

dauer in Tabelle 4-1 liegt. Anfang 2019 war knapp die Hälfte der Lkw über 12 t zulässigem Gesamtgewicht in einer Schadstoffklasse unterhalb des 2012 eingeführten Euro VI Standards zugelassen; bei den Sattelzugmaschinen traf dies auf nur rund ein Viertel zu (KBA 2019, Öko-Institut 2020a).

Ende der kalkulatorischen Nutzungsdauer und Restwertrisiko

Am Ende der kalkulatorischen Nutzungsdauer veräußern die befragten Unternehmen die Transportfahrzeuge in der Regel. Abbildung 4-13 zeigt, dass lediglich 15 % der Unternehmen die Fahrzeuge „häufig“ im bisherigen Einsatzprofil weaternutzen und nur 6 % in einem anderen Einsatzprofil. Die Mehrheit verkauft die Fahrzeuge am Ende der kalkulatorischen Nutzungsdauer „häufig“ und „eher häufig“ an einen Gebrauchtfahrzeughändler. Seltener werden die Fahrzeuge auf dem freien Markt verkauft oder an den Verkäufer bzw. Leasinggeber zurückgegeben.

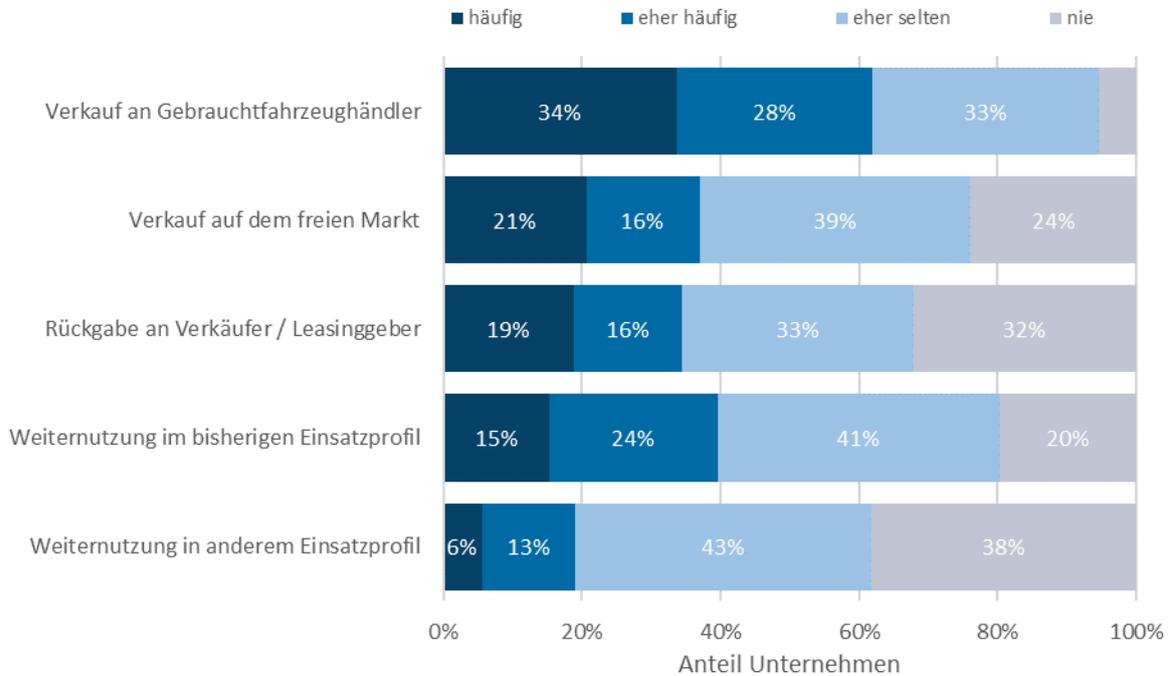
Für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben muss sich zunächst ein Gebrauchtfahrzeugmarkt entwickeln. Daran geknüpft ist auch die Restwertermittlung, die aus Sicht der Unternehmen bisher noch sehr risikobehaftet ist. Es lässt sich noch nicht zuverlässig sagen, welche Haltbarkeit insbesondere die Batteriesysteme und Brennstoffzellen, aber auch andere alternative Antriebskomponenten erreichen. Bisher wird der Restwert von konventionellen Fahrzeugen überwiegend auf Basis von Anfragen oder Angeboten von spezialisierten Gebrauchtfahrzeughändlern ermittelt (vgl. Abbildung 4-14). Zusätzlich spielen feste Vereinbarungen bei Kauf oder Übernahmen des Fahrzeugs sowie Marktanalysen über das Internet eine Rolle.

Im Durchschnitt der jeweiligen Stichprobe werden für Sattelzugmaschinen (n = 46) derzeit Restwerte von etwa 22 % des Anschaffungspreises erzielt und für Lkw über 16 t Gesamtgewicht (n = 33) ca. 18 %. Bei den Anhängern liegen die Restwerte im Durchschnitt der Erhebung für Sattelaufleger (n = 13) und gewöhnliche Anhänger (n = 29) bei etwa 13 % des Anschaffungspreises.

In Bezug auf die Restwertermittlung bei Fahrzeugen mit alternativen Antrieben geben 59 % der Teilnehmenden an, die Restwerte analog zu Diesel-Lkw zu ermitteln. Von den übrigen Unternehmen wird zum Teil angegeben, dass sie aufgrund der bestehenden Unsicherheiten mit geringeren bis keinen Wiederverkaufswerten kalkulieren würden. Entsprechend hoch schätzt die Mehrheit der befragten Unternehmen derzeit das Risiko der Restwertermittlung für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben ein. Als kritische Risikofaktoren werden neben der Unsicherheit bei dem Wiederverkaufswert neuartiger Komponenten auch mehrheitlich mögliche Veränderungen von gesetzlichen Grundlagen während der Haltedauer und Unsicherheiten bei der Entwicklung der Fahrzeug-Marktpreise gesehen.

Abbildung 4-13: Weiternutzung der Fahrzeuge nach kalkulatorischer Nutzungsdauer (n = 89)

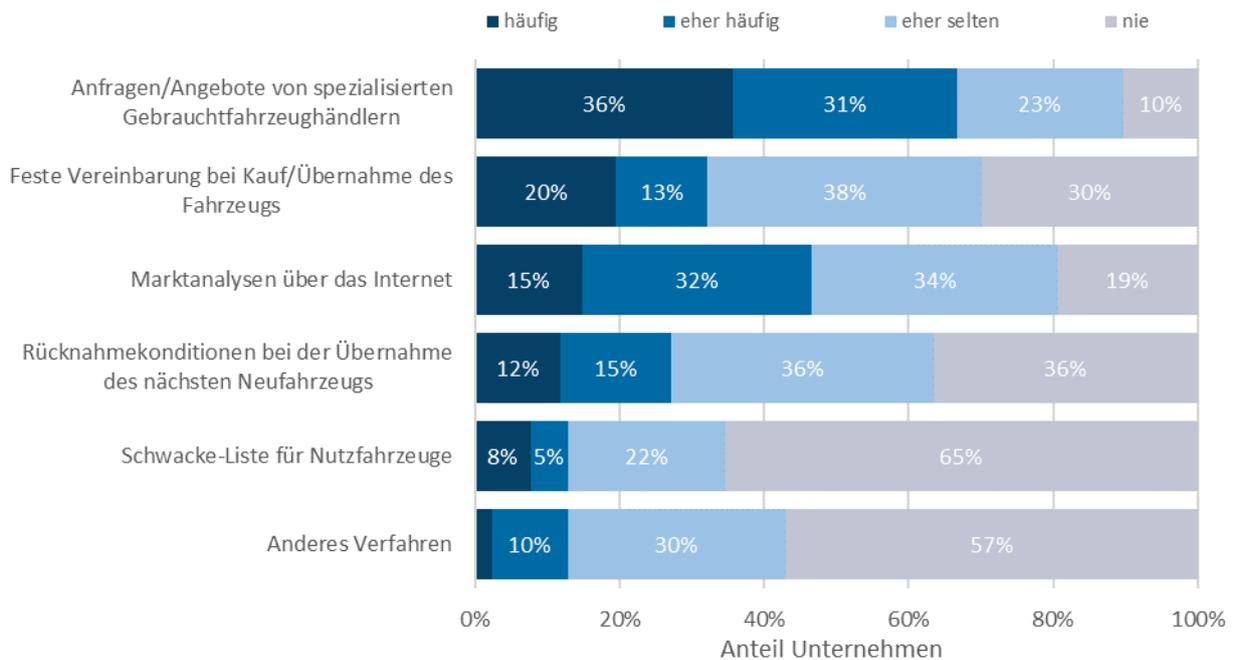
Originalfrage: Wie gehen Sie nach dem Ende der kalkulatorischen Nutzungsdauer (Abschreibungsdauer) üblicherweise mit Ihren Fahrzeugen um?



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 4-14: Kriterien für die Ermittlung des Wiederverkaufswertes bei konventionellen Diesel-Lkw (n = 87)

Originalfrage: Wie ermitteln Sie derzeit den Wiederverkaufswert bei konventionellen Diesel-Lkw?



Quelle: Eigene Darstellung

4.3. Anforderungen an die Politik und das Marktumfeld

Die Anschaffung von Fahrzeugen mit alternativen Antriebs- und Kraftstoffkonzepten wird über verschiedene politische Instrumente angereizt. In diesem Abschnitt wird die Einstellung der befragten Transport- und Logistikunternehmen zu den politischen Fördermaßnahmen diskutiert. Dabei werden sowohl derzeitige Maßnahmen bewertet als auch weitere Umstellungsanreize erfragt, die aus Sicht der Befragungsteilnehmenden hilfreich wären, um den Fuhrpark längerfristig auf Fahrzeuge mit alternativen Antrieben umstellen zu können.

Einschätzungen zu derzeitigen politischen Fördermaßnahmen

Zunächst wurden die Transportunternehmen gebeten, in Freitextantworten die Wirksamkeit der derzeitigen politischen Maßnahmen zur Förderung alternativer Antriebe zu bewerten. Zur Auswertung der Freitexte wurden die Aussagen den Kategorien „hilfreich“ und „nicht hilfreich“ zugeordnet, wobei einige differenzierte Antworten Aspekte beider Kategorien adressierten und die Antwort entsprechend in beiden Kategorien gezählt wurde. Insgesamt liegt die Summe der Nennungen in den Kategorien „hilfreich“ (34 Aussagen) und „nicht hilfreich“ (59 Aussagen) daher über der Stichprobengröße von 78 Antworttexten (vgl. Abbildung 4-15). Zusätzlich wurden die Antworten in den beiden Kategorien Themenclustern zugeordnet, die sich aus den Inhalten der Aussagen bilden ließen.

Insgesamt bewerten knapp die Hälfte der Transportunternehmen in der Stichprobe die derzeitigen politischen Fördermaßnahmen als hilfreich. Hauptsächlich werden hierbei Kaufprämien und die Mautbefreiung⁴ als wirksame Instrumente genannt. Allerdings werden in den Aussagen, bei denen diese politischen Maßnahmen positiv hervorgehoben werden, in der Hälfte der Fälle auch negative Aspekte genannt, die dem Cluster „nicht hilfreich“ zugeordnet sind. Speziell beim Lob der Kaufprämien oder Mautbefreiungen wird beispielsweise häufig gleichzeitig kritisiert, dass diese Instrumente zeitlich befristet und daher nicht ausreichend langfristig planbar seien oder die Maßnahmen aufgrund eines mangelnden Angebots an Fahrzeugen und Energieinfrastruktur ins Leere liefen.

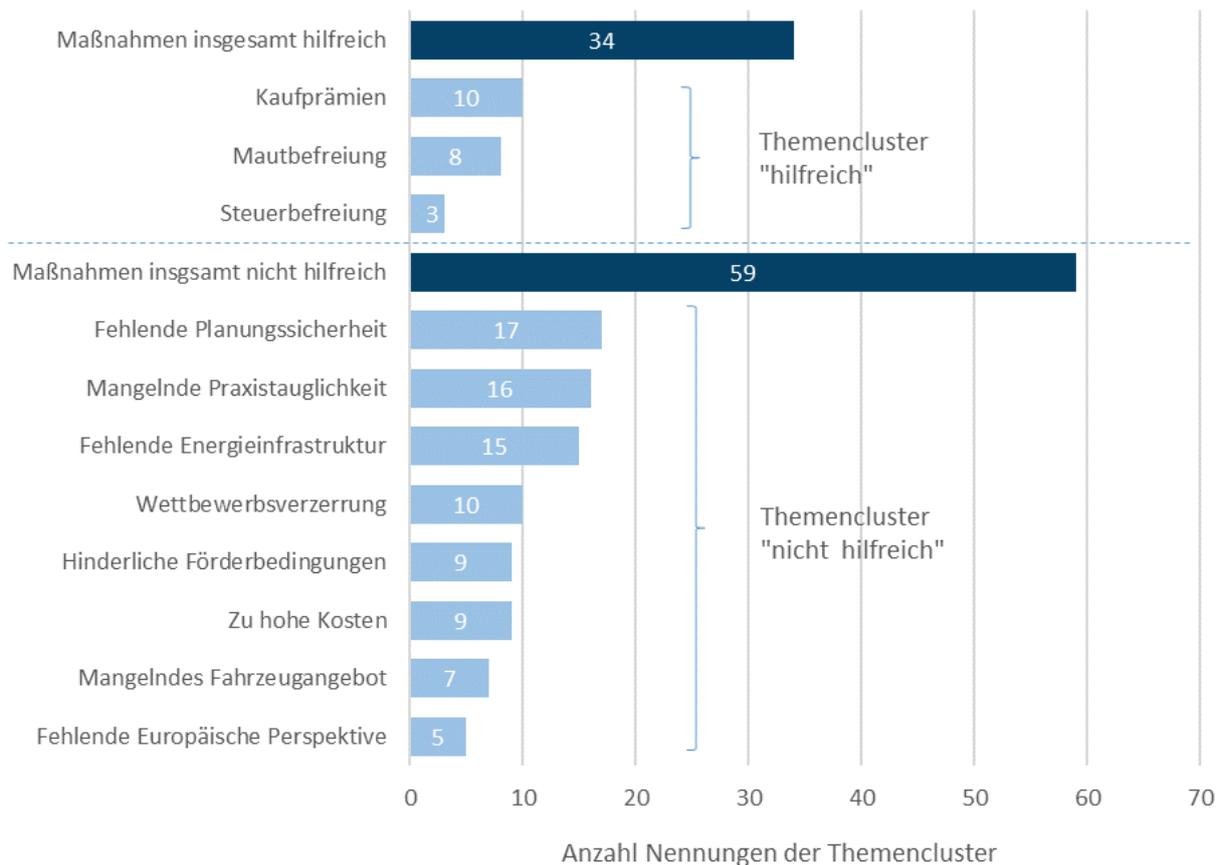
In dem Großteil der Aussagen werden die derzeitigen politischen Maßnahmen als nicht hilfreich bzw. als unzureichend bewertet. Es sei angemerkt, dass die Bereitschaft, ein Freitextfeld auszufüllen womöglich eher bei Personen liegt, die Kritik statt Zuspruch äußern wollen. Ein Indiz dafür ist, dass die Freitexte in der Kategorie „nicht hilfreich“ ausführlicher ausfallen als in der Kategorie „hilfreich“. Das Antwortspektrum weist also vermutlich ein negatives Bias auf. Nichtsdestotrotz helfen die Freifeldkommentare und die Clusterung in Themen, einige wesentliche Kritikpunkte aufzuzeigen.

Besonders häufig wird in den kritischen Aussagen das Kriterium „Planungssicherheit“ genannt. So fehlen den befragten Transportunternehmen etwa langfristig verlässliche Richtungsentscheidungen seitens der Politik. Häufig wird in diesem Zusammenhang der Richtungswechsel bei der Förderung von Fahrzeugen mit Erdgas-Antrieben kritisiert (vgl. Abschnitt 3.2). Dies erschwert den Unternehmen die Planung von Investitionen in Fahrzeuge und Infrastrukturen. Für sichere Investitionsentscheidungen werden von einigen Transportunternehmen mindestens Förderzeiträume über die Abschreibungsdauer der Fahrzeuge gefordert, da Maßnahmen, wie Mautbefreiungen, in die Kostenkalkulation einbezogen werden. Einige Unternehmen empfinden die politischen Signale als widersprüchlich – z. B. in Bezug auf E-Fuels - und wünschen sich mehr Orientierung und Klarheit hinsichtlich der zukünftigen Fahrzeug- und Kraftstofftechnologien.

⁴ Mautbefreiungen gelten aktuell für Fahrzeuge mit Erdgas- oder Elektroantrieben. Die Mautbefreiung von Erdgas (LNG/CNG)-Fahrzeugen soll Ende 2023 auslaufen.

Abbildung 4-15: Beurteilung derzeitiger politischer Maßnahmen zur Förderung alternativer Antriebe (n = 78)

Originalfrage: Wie hilfreich finden Sie die derzeitigen politischen Maßnahmen zur Förderung alternativer Antriebe (z. B. Kaufprämien, Steuer- und Mautbefreiungen, Masterplan Ladeinfrastruktur)? Bitte begründen Sie Ihre Antwort!



Quelle: Eigene Darstellung

Das Themencluster „Mangelnde Praxistauglichkeit“ umfasst die Kritikpunkte, die sich auf die Einsatzmöglichkeiten von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben beziehen. Beispielsweise wird häufig angemerkt, dass die Technik noch nicht ausgereift sei bzw. Fahrzeuge mit Elektroantrieben das aktuelle Leistungsspektrum nicht abbilden können. Diese Aussagen beziehen sich insbesondere auf den Schwerlast- und Fernverkehr. Die Problematik der Reichweiten und des Batterie-Mehrgewichtes ist in den Augen vieler Befragungsteilnehmenden bisher nicht ausreichend gelöst. Da eine Anschaffung von elektrischen Lkw für diese Unternehmen derzeit nicht in Frage kommen, können sie nicht von den monetären Förderanreizen profitieren.

Der dritte wesentliche Kritikpunkt ist die fehlende Energieinfrastruktur für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben. Der Ausbau wird von den kritisierenden Unternehmen als zu zögerlich und die Investitionen als zu gering eingeschätzt, wodurch wiederum die Einsetzbarkeit bzw. Praxistauglichkeit von Lkw mit alternativen Antriebstechnologien eingeschränkt wird. Eine flächendeckende Verfügbarkeit von Energieinfrastruktur wird als zentrale Voraussetzung für eine Anschaffung von Fahrzeugen mit

alternativen Antrieben benannt. Die Politik müsse bessere Anreize setzen, um zeitnah Lade- und Tankmöglichkeiten bei den Unternehmen selbst und im öffentlichem Straßenraum zu schaffen.

Etwas weniger häufig wird von zehn Unternehmen das Themencluster „Wettbewerbsverzerrung“ als nicht-hilfreich bewertet. Darunter sind alle Aussagen zusammengefasst, in denen die einseitige Förderung einer Antriebs- oder Kraftstofftechnologie bemängelt wird. Die Kritik richtet sich in der Regel entweder gegen die einseitige Förderung von Fahrzeugen mit Erdgas-Antrieben oder Elektroantrieben. Vereinzelt wird allerdings auch kritisiert, dass eine Mautbefreiung generell die Straße zu Ungunsten des Schienenverkehrs attraktiver mache. Dieser Effekt sollte bei einer stärkeren Ausrichtung der Lkw-Maut nach CO₂-Emissionen berücksichtigt werden.

Aus Sicht einiger Unternehmen erschweren „hinderliche Förderbedingungen“ und bürokratische Hürden die Inanspruchnahme der Förderungen. Gerade für KMU ist es zum Teil schwierig, einen Überblick über die Fördermaßnahmen des Bundes und der Bundesländer zu behalten sowie die Antragstellung umzusetzen. Dementsprechend besteht der Eindruck, dass die Förderungen eher von größeren Unternehmen genutzt werden. An der Richtlinie zur „Förderung der Erneuerung der Nutzfahrzeugflotte“ (ENF 2020), die ein Abwracken des Altfahrzeugs vorsieht, wird spezifisch bemängelt, dass der Restwert des Altfahrzeuges in der Regel über der Förderung des Neufahrzeuges in Höhe von 15.000 € liegt. Es sei in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, dass in der neuen Richtlinie zur Förderung alternativer, klimaschonender Antriebe (KsNI 2021), die einen Zuschuss in Höhe von 80 % der Mehrkosten gegenüber eines vergleichbaren EURO VI-Lkw vorsieht, keine Anforderung an die Weiternutzung der bestehenden Fahrzeug-Flotte formuliert wird. Diese Richtlinie war allerdings im Zeitraum der Befragung noch nicht veröffentlicht.

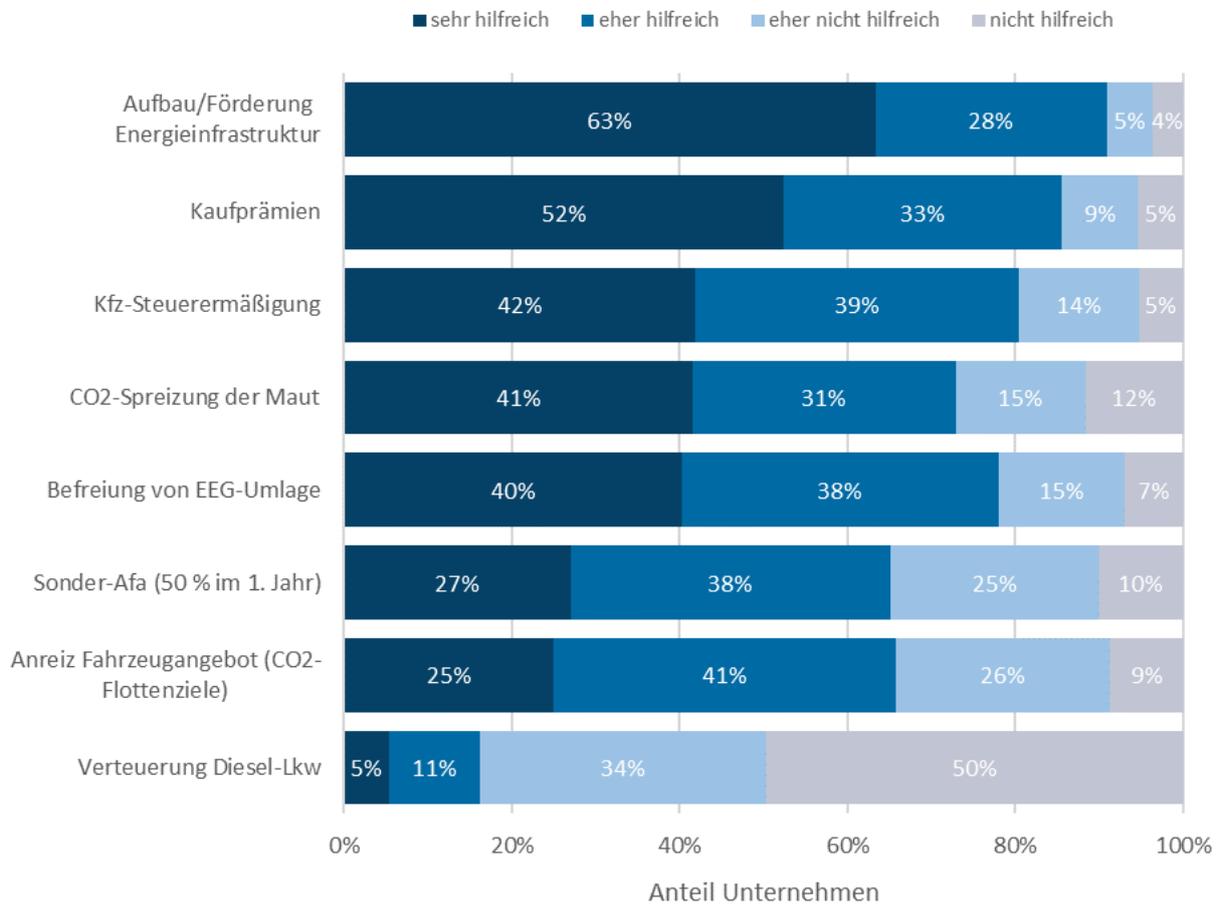
Als weitere relevante Kritikpunkte werden „Zu hohe Kosten“ der förderfähigen Fahrzeuge aufgeführt, die trotz der monetären Anreize durch Kaufprämien und Vergünstigungen im Betrieb für diese Unternehmen noch keinen wirtschaftlichen Einsatz ermöglichten (womöglich konnte dieser Kritikpunkt bereits durch die neue Förderrichtlinie für klimaschonende Nutzfahrzeuge und Infrastruktur adressiert werden). Ein „mangelndes Fahrzeugangebot“ wird als weiteres Hemmnis genannt, warum nicht alle Unternehmen von den Fördermaßnahmen profitieren können. Beispielsweise wird angemerkt, dass Batterie-Lkw bisher zum Teil nur für ausgewählte Testkunden zur Verfügung ständen. Zudem wird kritisiert, dass einfache technische Maßnahmen zur Senkung des CO₂-Ausstoßes, wie beispielsweise aerodynamische Anbauten an Sattelaufliegern, nicht wirtschaftlich einsetzbar seien. Als letztes gebildetes Themencluster der „nicht hilfreichen“ Aspekte kritisieren Unternehmen vereinzelt eine „fehlende Europäische Perspektive“ und fordern verlässliche Lösungen für grenzüberschreitende Verkehre.

Einschätzungen zu möglichen zukünftigen politischen Hilfestellungen

Im Anschluss an die Kommentierung derzeitiger politischer Maßnahmen wurden die befragten Unternehmen gebeten, vorformulierte Hilfestellungen für eine längerfristige Umstellung der Lkw-Fuhrparks auf Fahrzeuge mit alternativen Antrieben zu bewerten. Die acht zur Auswahl gestellten Maßnahmen und Aktivitäten sollten dabei von den Teilnehmenden von „sehr hilfreich“ bis „nicht hilfreich“ eingeordnet werden. Die Stichprobe für diese Frage ist gegenüber der zuvor diskutierten Freitextfrage mit 189 sehr viel höher und damit repräsentativer. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4-16 dargestellt.

Abbildung 4-16: Bewertung möglicher zukünftiger politischer Hilfestellungen zur Umstellung des Fuhrparks auf Fahrzeuge mit alternativen Antrieben (n = 189)

Originalfrage: Wie hilfreich wären für Sie die folgenden politischen Maßnahmen bzw. Aktivitäten, um Ihren Lkw-Fuhrpark längerfristig auf alternative Antriebe umzustellen?



Quelle: Eigene Darstellung

Im Gesamtbild werden die vorgeschlagenen Hilfestellungen überwiegend als „sehr hilfreich“ bis „eher hilfreich“ bewertet. Damit zeichnet sich in dieser Frage ein positiveres Bild als in der zuvor diskutierten Freifeldkommentierung. Erneut ist eine klare Forderung nach einem Aufbau der Energieinfrastruktur erkennbar. Rund 90 % der befragten Unternehmen bewerten die Förderung und den Aufbau von Energieinfrastruktur als „sehr hilfreich“ oder „hilfreich“. Bei den wirtschaftlichen Instrumenten scheint die Präferenz bei Hilfestellungen für die Anschaffung zu liegen, entsprechend bewerten 85 % der befragten Unternehmen Kaufprämien als hilfreiche Maßnahme. Jeweils 70 bis 80 % der Unternehmen stufen auch Vergünstigungen bei den Betriebskosten durch Kfz-Steuerermäßigungen, CO₂-gespreizte Mautermäßigungen oder die Befreiung der Stromkosten von der EEG-Umlage als besonders hilfreich ein. Im Vergleich zu den vorgenannten wirtschaftlichen Anreizinstrumenten wird die Möglichkeit der Sonderabschreibung im ersten Jahr (Sonder-Afa) etwas abgeschwächer bewertet: Die Mehrheit sieht die Maßnahme als „eher hilfreich“ statt „sehr hilfreich“.

Die mit den CO₂-Emissionsstandards für schwere Lkw (auch CO₂-Flottenziele genannt) geschaffene Verpflichtung für Hersteller, zunehmend effizientere und klimaschonende Fahrzeuge zu vermarkten, sieht die Mehrheit der befragten Unternehmen ebenfalls als hilfreich an, wenn auch in der Rangfolge

nach den wirtschaftlichen Anreizinstrumenten. Bereits in Abbildung 4-15 wird das mangelnde Fahrzeugangebot förderfähiger Fahrzeuge, welches durch den Anreiz der CO₂-Flottenziele in den kommenden Jahren deutlich zunehmen dürfte, nicht sehr häufig als Hemmnis für eine Umstellung der Fuhrparkflotten auf alternative Antriebe genannt. Andere Aspekte, wie die betriebliche Zuverlässigkeit, die Energieversorgung und die Wirtschaftlichkeit, spielen laut den Befragungsergebnissen bisher noch eine wichtigere Rolle. Da hier bei vielen Unternehmen noch Zweifel bestehen, überrascht es nicht, dass rund 84 % der Unternehmen eine Verteuerung von Diesel-Lkw als nicht hilfreich einstufen. Als konkrete Sorge werden in dem Zusammenhang unerwünschte Nebeneffekte benannt, wie eine Begünstigung von Kobotage aus Osteuropa und mögliche Standortverlagerungen.

Zusätzlich wurden die Teilnehmenden nach weiteren Umstellungsanreizen gefragt, die sie sich seitens der Politik wünschen. Neben den zuvor genannten Aspekten werden von einzelnen Unternehmen weitere Hilfestellungen benannt: die Förderung von Werkstätten und Schulungsangebote für alternative Antriebe, Erleichterungen bei Fahrverbotszeiten und zulässigem Gesamtgewicht sowie eigene günstige Stromtarife für Transportunternehmen.

5. Zentrale Herausforderungen für die Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs

Die heterogene Struktur der Logistikbranche sowie die Diskrepanz zwischen bisherigen Erfahrungen mit alternativen Kraftstoffen bzw. Antrieben und vielversprechenden Alternativen gestalten den erforderlichen schnellen Technologiewandel herausfordernd.

- Die sehr unterschiedliche Größe von Transportunternehmen – mit einem hohen Anteil von Kleinunternehmen – schafft sehr unterschiedliche Voraussetzungen mit Blick auf den Einsatz von alternativ betriebenen Lkw und den damit verbundenen Risiken und Informationsbedarfen.
- Praktische Erfahrungen wurden in der Logistikbranche bislang vorrangig mit Kraftstoffalternativen gesammelt (v.a. Biokraftstoffe, Erdgas), die zukünftig eine voraussichtlich wenig bedeutende Rolle spielen werden. Elektrische Antriebstechnologien, die hingegen aktuell als zentral für die Erreichung der Klimaziele diskutiert werden, treffen bei den Anwendern und Anwenderinnen teilweise auf erhebliche Vorbehalte. Technologien, die ähnliche Einsatzmuster wie die etablierte Dieseltechnologie versprechen (v.a. wasserstoffbasierte Antriebe), werden hingegen unabhängig von ihrer tatsächlichen Marktverfügbarkeit und verbleibenden Unsicherheiten über Art und Kosten der Energieversorgung als vielversprechende Alternative bis zum Jahr 2030 bewertet.
- **Herausforderung:** Eine heterogen strukturierte Logistikbranche ist geprägt vom langjährigen Vertrauen in die etablierte Diesel-Technologie und teilweise von zwischenzeitlichen Erfahrungen mit verwandten Antrieb-Kraftstoff-Kombinationen (Erdgas, Biokraftstoffen), die sich mittlerweile mit Blick auf die notwendige Dekarbonisierung als nicht tragfähig erwiesen haben. Soll ein schneller Technologiewandel hin zu elektrischen Antrieben gelingen, so müssen die Vorbehalte bei den Anwendern und Anwenderinnen schnell abgebaut werden.
- **Handlungsempfehlung:** Es sollte eine Kommunikationsstrategie entwickelt werden, die die heterogene Akteurslandschaft der Transportunternehmen und die unterschiedlichen Fahrzeuganforderungen adressiert. Eine klare Kommunikation der vielversprechenden Technologiepfade und die Gelegenheit zur frühzeitigen Technologieerprobung in Demonstrationsprojekten sind voraussichtlich erforderlich, um das notwendige Vertrauen in die Alternativen bei den Anwenderinnen und Anwendern zu erlangen. Unternehmen, die bereits Erfahrungen mit elektrischen Antrieben sammeln konnten, kommt eine besondere Vorreiter-Rolle zu, welche in gezielten Austauschformaten zur Wissensverbreitung genutzt werden sollte.

Die Logistikbranche erwartet von alternativen Kraftstoff- und Antriebsoptionen eine zum Diesel-Lkw vergleichbare betriebliche Zuverlässigkeit und ein ähnliches Einsatzspektrum. Keine der diskutierten Technologieoptionen kann dies jedoch bis zum Jahr 2030 vollständig gewährleisten.

- Neben einer flächendeckenden Energieversorgungsinfrastruktur als zentraler Voraussetzung stehen für die Anwender:innen mit Blick auf mögliche Antriebsalternativen vor allem Aspekte eines vergleichbaren betrieblichen Einsatzes im Vordergrund. Als besonders relevant wird eine unveränderte Nutzlast der Fahrzeuge, deren betriebliche Zuverlässigkeit sowie ein vergleichbares Einsatzspektrum genannt.
- Im Nah- und Regionalverkehr können die im Durchschnitt geforderten Tagesreichweiten von knapp 400 km mit marktnahen Technologien bedient werden. So können diese beispielsweise mit seriennahen Batterie-Lkw und maximal einer Nachladung am Tag, perspektivisch auch mit Brennstoffzellen-Lkw geleistet werden. Die erforderliche mittlere Tagesreichweite im Fernverkehr von über 700 km erfordert hingegen darüberhinausgehende Konzepte (z. B. Oberleitung,

Hochleistungslader, höher komprimierter oder flüssiger Wasserstoff). Insbesondere bei Verkehren mit hoher Fahrleistung werden der Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur, der Nutzlast und der betrieblichen Zuverlässigkeit besondere Bedeutung beigemessen.

- Hinsichtlich der Eignung für den Einsatz von Antriebsalternativen lässt sich auch zwischen Einsatzprofilen unterscheiden. So zeichnen sich beispielsweise Sammel-/Verteilverkehre und Auslieferungs- und Abholungsverkehre mit zum Teil geringeren Tagesfahrleistungen für einen frühzeitigen Antriebswechsel aus. Spezial- und Schwerlastverkehre sowie Gefahrguttransporte stellen hingegen vergleichsweise hohe Mindestanforderungen an die Tagesfahrleistung.
- **Herausforderung:** Für eine umfassende Akzeptanz von Technologiealternativen bei den Anwendern und Anwenderinnen sind betrieblich zuverlässige Serienprodukte erforderlich, die sich jedoch aktuell erst im Stadium der Markteinführung befinden. Es zeichnet sich zudem ab, dass die bis 2030 verfügbaren Technologien die vielfältigen Anwendungen von schweren Nutzfahrzeugen nur in Teilbereichen (insbesondere im Regionalverkehr) abdecken können. Vor diesem Hintergrund kann insbesondere für den Fernverkehr zum jetzigen Zeitpunkt keine Klarheit über den zukünftigen Technologiemix hergestellt werden. Das sich daraus ableitende stufenweise Erschließen von Einsatzfeldern durch alternative Antriebe geht zu Lasten der gewünschten langfristigen Planungssicherheit bei den Anwenderinnen und Anwendern.
- **Handlungsempfehlungen:** Die Erprobung von alternativen Antriebstechnologien im Praxisalltag ist ein entscheidender Faktor, um Vertrauen in eine neue Technologie und ihre betriebliche Zuverlässigkeit zu gewinnen. Es empfiehlt sich eine stufenweise Erschließung der Einsatzfelder, beginnend mit zeitnah elektrifizierbaren Transporten in regionalen Sammel-/Verteilverkehren sowie regionalen Auslieferungs- und Abholungsverkehren. Das stufenweise Vorgehen sollte im engen Dialog mit den Anwendern und Anwenderinnen erfolgen und von einer klaren Kommunikation der Vorgehensweise begleitet werden. Für herausfordernde Einsatzprofile – wie z. B. im Fernverkehr – können praxistaugliche Zielbilder aus Fahrzeugkonfiguration und Energieversorgungsinfrastruktur helfen, Vorbehalte abzubauen.

Für die Akzeptanz von alternativen Antriebstechnologien kommt der flächendeckenden Energieversorgungsinfrastruktur eine Schlüsselrolle zu, die insbesondere in der Aufbauphase das Einsatzspektrum der Fahrzeuge noch stark einschränkt. Die Standzeiten der Fahrzeuge weisen aber auch auf Potenziale für teilweise längere Betankungs-/Ladezeiträume ohne Einschränkungen des Fahrzeugeinsatzes hin.

- Die Verfügbarkeit der Energieversorgungsinfrastruktur wird von den Anwendern und Anwenderinnen als wichtigstes Kriterium für die Umstellung des Fuhrparks auf alternative Antriebe genannt. Auch weitere, hoch bewertete Einflussgrößen, wie das mögliche Einsatzspektrum, die betriebliche Zuverlässigkeit und die Beibehaltung der üblichen Nutzlast stehen in direktem oder zumindest indirektem Zusammenhang mit der Energieversorgungsinfrastruktur. Bei Einsatzprofilen mit hohen Fahrleistungen gewinnt dieses Kriterium nochmals an Bedeutung.
- Längere Umwege und damit Zeitverluste zur Erreichung der alternativen Energieinfrastruktur werden nur sehr eingeschränkt und relativ unabhängig von der Tourenlänge akzeptiert. So würden weniger als 40 % der Unternehmen Umwege von mehr als 10 Kilometern in Kauf nehmen.
- Insbesondere mit Blick auf Batterie-Lkw und der damit verbundenen Erfordernis von längeren Ladezeiträumen, zeigt die Analyse der Fahrzeugstandzeiten Möglichkeiten für eine Integration in den Betriebsablauf auf. So bieten als „typisch“ genannte Fahrzeugstandzeiten von in Tagessumme 16 Stunden potenziell die Gelegenheit zum Nachladen. Hierfür eignen sich insbesondere längere Standzeiten über Nacht für eine Nachladung auch mit moderater Leistung sowie Be- und Entladevorgänge, welche typischerweise mit ca. 3 Stunden am Tag angegeben werden.

Nicht planbare Standzeiten, wie Staus und Wartezeiten an den Be- und Entladerampen beanspruchen im Durchschnitt nur etwa 1,5 Stunden am Tag.

- **Herausforderung:** Der Einsatz alternativ angetriebener Lkw im Regelbetrieb erfordert eine zuverlässige und flächendeckende Ladeinfrastruktur. Dies gilt insbesondere für anspruchsvolle Einsatzprofile mit oftmals hohen Fahrleistungen. Dem schnellen Aufbau steht jedoch einerseits die verbleibende Unklarheit über den zukünftigen Technologiemix und andererseits die noch fehlenden international abgestimmten, technischen Standards bzw. nicht vollständig ausgereifte Lösungen für die jeweiligen Energieversorgungsinfrastrukturen gegenüber.
- **Handlungsempfehlung:** Die Entwicklung eines verlässlichen Ausbauplans zur Energieversorgungsinfrastruktur ist eine zentrale Voraussetzung, um die Investitionsbereitschaft der Logistikbranche in alternative Antriebstechnologien zu erhöhen. Die Förderung von Ladeinfrastruktur im Depot und an den Be- und Entladerampen ist eine no-regret Maßnahme, von der alle elektrischen Antriebsoptionen von Batterie-Lkw über Brennstoffzellen-Lkw bis hin zu Plug-In-Hybriden (z. B. auch Oberleitungs-Hybrid-Lkw) profitieren. In den Ausbaustrategien, die bisher auf das Pkw-Segment fokussieren, sollte der Aufbau von öffentlicher Schnellladeinfrastruktur für schwere Nutzfahrzeuge stärker berücksichtigt werden, um den Aktionskreis elektrischer Lkw im Regionalverkehr zu erhöhen. Pfadentscheidungen zum Ausbau von Hochleistungsschnellladern, Oberleitungen oder Wasserstoff-Tankstellen entlang der Fernverkehrs-Korridore sollten im engen Dialog mit den Anwendern und Anwenderinnen frühzeitig und transparent kommuniziert werden.

Die Beschaffung von alternativ betriebenen Lkw ist für die Logistikbranche unter den gegebenen Rahmenbedingungen und angesichts fehlender Praxiserfahrung mit erheblichen Investitionsrisiken verbunden, die durch die bisherigen Fördermaßnahmen aus Anwender:innenperspektive nur bedingt adressiert werden.

- Die überwiegende Mehrheit der befragten Logistikunternehmen setzt auf gekaufte Fahrzeuge. Nach der kalkulatorischen Nutzungsdauer, die sich je nach Fahrzeugtyp und auch zwischen Zugmaschinen und Anhänger unterscheidet, werden die Fahrzeuge in der Regel weiterverkauft.
- Der positiven Vorerfahrung mit bewährten Modellen wird beim Fahrzeugkauf ein hoher Stellenwert beigemessen. Gesamtkostenbasierte (TCO) Entscheidungen kommen zum Tragen, wenn die Grundvoraussetzungen an Verlässlichkeit und Einsatzspektrum gegeben sind. Dabei werden die Kosten über den gesamten Nutzungszeitraum berücksichtigt.
- **Herausforderung:** Aus Nutzungsperspektive kompensieren die bisherigen Fördermaßnahmen für alternativ betriebene Lkw die damit verbundenen Investitionsrisiken nur unzureichend⁵. Neben der grundsätzlichen Unsicherheit über die „Richtungssicherheit“ des jeweiligen Technologiepfads, werden u.a. die Befristung von Fördermaßnahmen unterhalb der Abschreibungsdauer, die Unsicherheit über die Restwertentwicklung sowie – insbesondere für Kleinunternehmen – ein Mangel an niederschweligen Informationen zur Förderung und komplizierte Antragsverfahren als Hemmnisse thematisiert. Klar zum Ausdruck kommt, dass, neben der Minimierung der wirtschaftlichen Risiken beim Fahrzeugkauf, dem grundsätzlichen Vertrauen in die Technologie und deren betrieblicher Zuverlässigkeit ein hoher Stellenwert für die Akzeptanz in der Branche zukommt.

⁵ Die „Richtlinie über die Förderung von leichten und schweren Nutzfahrzeugen mit alternativen, klimaschonenden Antrieben und dazugehöriger Tank- und Ladeinfrastruktur für elektrisch betriebene Nutzfahrzeuge“ war zum Zeitpunkt der Befragung noch nicht in Kraft.

- **Handlungsempfehlung:** Fördermaßnahmen sollten insbesondere in der frühen Marktphase die Investitionsrisiken für Unternehmen mit Blick auf u.a. „Richtungssicherheit“ des Technologiepfads, Restwertentwicklung und Abschreibungsdauer berücksichtigen. Insbesondere Kleinunternehmen sollte ein niederschwelliger Zugang zu Fördermitteln gewährt und deren besonders hohen Investitionsrisiken Rechnung getragen werden. Der Absatz an klimaschonenden Fahrzeugtechnologien kann seitens der herstellenden Unternehmen durch verlässliche Service- und Wartungsangebote sowie gezielte Schulungen der Transportbetriebe und Fahrer:innen erhöht werden.

Ein fehlendes Zielbild, das sich in der Vergangenheit mit Blick auf die Dekarbonisierung des Straßengüterverkehrs in einem inkonsistenten Bild aus regulatorischem Umfeld und Herstellerstrategien geäußert hat und weiterhin an Klarheit für die Zukunft missen lässt, erschwert die Orientierung und Planungssicherheit für die Anwender:innen bei der Bewertung von Antriebsoptionen.

- Die Anwender:innen lassen eine Frustration über ein unklares Zielbild bzgl. der diskutierten Antriebsoptionen und fehlender langfristiger Rahmenbedingungen erkennen. Es fehlt ein Vertrauen in die Richtungssicherheit, die als Grundlage für weitreichende Investitionsentscheidungen erforderlich ist.
- Bei den aktuell diskutierten und entwickelten Lösungen fehlt den Transportunternehmen der Praxisbezug und ein schlüssiges Bild für den Regeleinsatz der Antriebstechnologien. Dies gilt insbesondere für rein elektrische Antriebe (batterieelektrisch, Oberleitung).
- Als besonders hilfreich bzw. zentral für die Flottenumstellung auf alternative Antriebe werden der Aufbau der Energieversorgungsinfrastruktur sowie vorrangig monetäre Anreize bei der Fahrzeugbeschaffung (Kaufprämien) und im Betrieb (z. B. CO₂-gespreizte Maut, Befreiung von der EEG-Umlage) genannt.
- **Herausforderung:** Der mit Blick auf die Dekarbonisierung erforderliche schnelle Technologiewandel kann nur gelingen, wenn die Anwender:innen alltagstaugliche Alternativen auf dem Markt vorfinden und Vertrauen in deren langfristigen Perspektiven haben können, da sie u.a. von einer öffentlichen Bereitstellung von Energieversorgungsinfrastruktur abhängig sind. Als herausfordernd stellt sich die Tatsache dar, dass hinsichtlich des zukünftigen Technologiemieses aktuell kein klares Bild vermittelt werden kann und angesichts der Erfahrungen bezüglich Technologieförderung aus der jüngeren Vergangenheit (vgl. Erdgas) Zweifel über die Langfristigkeit von politisch-regulatorischen Rahmenbedingungen bestehen.
- **Handlungsempfehlung:** Eine möglichst weitreichende Konkretisierung eines Technologiefahrplans, der durch konsistente Rahmenbedingungen flankiert wird, ist erforderlich, um bei den Anwenderinnen und Anwendern Planungssicherheit und Technologievertrauen zu schaffen. Ebenso sollten Technologien, die perspektivisch keine oder eine nachgeordnete Rolle spielen werden, aktiv kommuniziert werden. Widersprüchliche Signale seitens der politischen Entscheidungsträger:innen verunsichern die Branche und schrecken von Investitionsentscheidungen in klimaschonende Fahrzeugtechnologien ab. Entsprechend sollten Fördermaßnahmen klar an einem langfristigen Zielbild eines elektrischen Straßengüterverkehrs ausgerichtet werden.

Literaturverzeichnis

- ACEA (2020). The transition to zero-emission road freight transport. ACEA. European Automobile Manufacturers Association (Hg.), 2020. Online verfügbar unter <https://www.acea.auto/files/acea-pik-joint-statement-the-transition-to-zero-emission-road-freight-trans.pdf>, zuletzt geprüft am 05.10.2021.
- AFID (2014): European Commission. Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure, AFID. In: *Official Journal of the European Union* L 307, S. 1–20. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014L0094&from=EN>, zuletzt geprüft am 03.06.2020.
- AFIR (2021): Europäische Kommission. Proposal for a regulation of the EU parliament and the council on the deployment of alternative fuels infrastructure, and repealing Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council, AFIR. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/revision_of_the_directive_on_deployment_of_the_alternative_fuels_infrastructure_with_annex_0.pdf, zuletzt geprüft am 05.10.2021.
- BAG (2021). Struktur der Unternehmen des gewerblichen Güterkraftverkehrs und des Werkverkehrs, Band USTAT 19. BAG. Bundesamt für Güterverkehr (Hg.), 2021.
- BASt (2015). Ergebnisse Fahrleistungserhebung 2014. BASt. Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.), 2015. Online verfügbar unter <http://www.bast.de/DE/Verkehrssicherheit/Fachthemen/u2-fahrleistung-2014/u2-Fahrleistung-2014-ergebnisse.html?nn=605482>, zuletzt geprüft am 05.07.2017.
- BDI (2021): Burchardt, J.; Franke, K.; Herhold, P.; Hohaus, M.; Humpert, H.; Päivärinta, J.; Richenhagen, E.; Ritter, D.; Schönberger; Stefan; Schröder, J.; Strobl, S.; Treis, C. et al. Klimapfade 2.0, Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft. BDI. Bundesverband der deutschen Industrie (Hg.), 2021.
- BGL (2021): Der Gewerbliche Güterverkehr - eine Branche in Zahlen, BGL. Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (Hg.). Online verfügbar unter https://www.bgl-ev.de/web/medien/daten_und_fakten/brancheninfo.htm, zuletzt aktualisiert am 17.12.2021.
- BMF (2000). Afa-Tabellen. BMF. Bundesministerium der Finanzen (Hg.), 2000. Online verfügbar unter https://www.bundesfinanzministerium.de/Web/DE/Themen/Steuern/Steuerverwaltung/Steuerrecht/Betriebspruefung/AfA_Tabellen/afa_tabellen.html, zuletzt geprüft am 17.12.2021.
- BMVI (2010). Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010 (KiD 2010), Ergebnisse der bundesweiten Verkehrsbefragung. BMVI. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.), 2010. Online verfügbar unter <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/kraftfahrzeugverkehr-in-deutschland-2010-kid-2010.html>, zuletzt geprüft am 28.02.2018.
- BMVI (2020). Gesamtkonzept klimafreundliche Nutzfahrzeuge, Mit alternativen Antrieben auf dem Weg zur Nullemissionslogistik auf der Straße. BMVI. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.), 2020. Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publicationen/G/gesamtkonzept-klimafreundliche-nutzfahrzeuge.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 05.10.2021.
- BMVI (2021). BMVI bringt Innovationscluster für klimafreundliche Lkw-Antriebstechnologien auf den Weg. BMVI. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.), 2021. Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2021/104-scheuer-innovationscluster-strassennutzverkehr.html>, zuletzt geprüft am 05.10.2021.

- Bundesregierung (2019): Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050, 2019. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/1679914/e01d6bd855f09bf05cf7498e06d0a3ff/2019-10-09-klima-massnahmen-data.pdf?download=1>, zuletzt geprüft am 14.10.2020.
- dena (2021). Öffentliche LNG-Tankstellen in Deutschland. dena. Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hg.), 2021. Online verfügbar unter <https://www.dena.de/themen-projekte/projekte/mobilitaet/lng-taskforce-und-initiative-erdgasmobilitaet/>, zuletzt geprüft am 17.12.2021.
- DSLVL (2015): DSLVL. Zahlen, Daten, Fakten aus Spedition und Logistik. DSLVL. Deutscher Speditions- und Logistikverband (Hg.), 2015.
- ENF (2020): Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Bekanntmachung der Richtlinie zur Förderung der Erneuerung der Nutzfahrzeugflotte, ENF. Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/001-2021-austauschprogramm-lkw.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 06.04.2021.
- Fraunhofer ISI (2019): Kluschke, P.; Uebel, M.; Wietschel, M. Alternative Antriebe im straßengebundenen Schwerlastverkehr: eine quantitative Ermittlung der Nutzeranforderungen an schwere Lkw und deren Infrastruktur (Working Paper Sustainability and Innovation, 05/2019). Fraunhofer ISI. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Hg.). Karlsruhe, 2019.
- Fraunhofer ISI (2020): Burghard, U.; Scherrer, A. Die Verbreitung von eHighway-Systemen erfordert breite gesellschaftliche Unterstützung, Policy Brief der Begleitforschung Oberleitungs-Lkw in Deutschland (BOLD). Fraunhofer ISI. Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (Hg.), 2020. Online verfügbar unter https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2020/Policy_Brief_e_highway_oberleitung_lkw.pdf, zuletzt geprüft am 29.10.2021.
- Fraunhofer ISI (2021a): Plötz, P.; Speht, D. Truck Stop Locations in Europe. Fraunhofer ISI. Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (Hg.), 2021. Online verfügbar unter https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2021/ACEA_truckstop_report_update.pdf, zuletzt geprüft am 29.10.2021.
- Fraunhofer ISI (2021b): Sensfuß, F.; Maurer, C.; Krail, M.; Speth, D.; Gnann, T.; Wietschel, M.; Deac, G.; Mellwig, P.; Müller-Kirchenbauer, J. Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland, Treibhausgasneutrale Hauptszenarien - Modul Verkehr. Unter Mitarbeit von Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI); Consentec GmbH; Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU) und Technische Universität Berlin (TU Berlin). Fraunhofer ISI. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hg.), 2021.
- HBS (2018): Zanker, C. Branchenanalyse Logistik., Der Logistiksektor zwischen Globalisierung, Industrie 4.0 und Online-Handel. HBS. Hans-Böckler-Stiftung (Hg.), 2018.
- Hyundai (2020): World's First Fuel Cell Heavy-Duty Truck, Hyundai World's First Fuel Cell Heavy-Duty Truck, Hyundai XCIENT Fuel Cell, Heads to Europe for Commercial Use. Hyundai Hydrogen Mobility AG (Hg.). Online verfügbar unter <https://hyundai-hm.com/2020/07/08/worlds-first-fuel-cell-heavy-duty-truck-hyundai-xcient-fuel-cell-heads-to-europe-for-commercial-use/>, zuletzt aktualisiert am 08.07.2020, zuletzt geprüft am 27.07.2020.
- ICCT (2021a): Basma, H.; Beys, Y.; Rodríguez, F. Battery electric tractor-trailers in the European Union: A vehicle technology analysis, Working Paper 2021-29. ICCT. International Council on Clean Transportation (Hg.), 2021. Online verfügbar unter <https://theicct.org/sites/default/files/publications/eu-tractor-trailers-analysis-aug21-2.pdf>, zuletzt geprüft am 29.10.2021.
- ICCT (2021b): Basma, H.; Saboori, A.; Rodríguez, F. Total cost of ownership for tractor-trailers in Europe: Battery electric versus Diesel. ICCT. International Council on Clean Transportation (Hg.), 2021.

- ifeu (2019): Helms, H.; Fehrenbach, H.; Biemann, K.; Kämper, C.; Lambrecht, U.; Jöhrens, J.; Meyer, K. Klimabilanz von strombasierten Antrieben und Kraftstoffen. Unter Mitarbeit von Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU). ifeu. Agora Verkehrswende (Hg.), 2019.
- ifeu (2020): Jöhrens, J.; Rücker, J.; Kräck, J.; Allekotte, M.; Helms, H.; Biemann, K.; Schillinger, K.; Waßmuth, V.; Paufler-Mann, D.; Frischmuth, F.; Gerhard, N. Roadmap OH-Lkw: Einführungs-szenarien 2020-2030, Optimierung des Infrastrukturaufbaus für O-Lkw und Analyse von Kosten und Umwelteffekten in der Einführungsphase - Untersuchung im Rahmen des Verbundvorhabens „Roadmap OH-Lkw“. Unter Mitarbeit von Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), PTV, Fraunhofer IEE. ifeu, 2020.
- KBA (2019). Fahrzeugzulassungen FZ, Bestand an Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen 01. Januar 2019. FZ 13. KBA. Kraftfahrt-Bundesamt (Hg.), 2019, zuletzt geprüft am 05.02.2020.
- KBA (2020): KBA. Verkehr deutscher Lastkraftfahrzeuge (VD), Gesamtverkehr Dezember 2020 - VD 5. KBA. Kraftfahrt-Bundesamt (Hg.), 2020.
- KPMG (2014): Pfohl, H.-C.; Wagner, S.; Ries, A.; Berbner, U.; Witte, H. 4th Party Logistics – Chancen und Herausforderungen. Unter Mitarbeit von KPMG AG und Technische Universität Darmstadt. KPMG, 2014.
- KSG (2021): Bundesregierung. Bundes-Klimaschutzgesetz, KSG, Fassung vom 12.05.2021.
- KsNI (2021): Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Bekanntmachung der Richtlinie über die Förderung von leichten und schweren Nutzfahrzeugen mit alternativen, klimaschonenden Antrieben und dazugehöriger Tank- und Ladeinfrastruktur für elektrisch betriebene Nutzfahrzeuge, KsNI. Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/richtlinie-KsNI.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 05.10.2021.
- NPM (2020): NPM, AG 1 - Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, Arbeitsgruppe 1. Werkstattbericht Antriebswechsel Nutzfahrzeuge, Wege zur Dekarbonisierung schwerer Lkw mit Fokus der Elektrifizierung. NPM. Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, Arbeitsgruppe 1 (Hg.), 2020.
- Öko-Institut (2018): Kühnel, S.; Hacker, F.; Görz, W. Oberleitungs-Lkw im Kontext weiterer Antriebs- und Energiversorgungsoptionen für den Straßengüterfernverkehr, Ein Technologie- und Wirtschaftlichkeitsvergleich. Erster Teilbericht des Forschungsvorhabens „StratON - Bewertung und Einführungsstrategien für oberleitungsgebundene schwere Nutzfahrzeuge“. Öko-Institut. Freiburg, Berlin, Darmstadt, 2018.
- Öko-Institut (2020a): Göckeler, K.; Hacker, F.; Mottschall, M.; Blanck, R.; Görz, W.; Kasten, P.; Bernecker, T.; Heinzemann, J. Status quo und Perspektiven alternativer Antriebstechnologien für den schweren Straßengüterverkehr - 1. Teilbericht, Erster Teilbericht des Forschungs- und Dialogvorhabens „StratES: Strategie für die Elektrifizierung des Straßengüterverkehr“. Unter Mitarbeit von Öko-Institut und Hochschule Heilbronn. Öko-Institut, 15.10.2020. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/StratES-Teilbericht1-Marktanalyse.pdf>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Öko-Institut (2020b): Hacker, F.; Blanck, R.; Görz, W. StratON Bewertung und Einführungsstrategien für oberleitungsgebundene schwere Nutzfahrzeuge, Endbericht. Unter Mitarbeit von Öko-Institut; HHN; Fraunhofer IAO und ITP. Öko-Institut, 2020.
- Öko-Institut (2020c): Matthes, F. C.; Heinemann, C.; Hesse, T.; Kasten, P.; Mendelewitsch, R.; Seebach, D.; Timpe, C.; Cook, V. Wasserstoff sowie wasserstoffbasierte Energieträger und Rohstoffe, Eine Überblicksuntersuchung. Öko-Institut. Öko-Institut e.V. (Hg.), 2020.
- Öko-Institut (2020d): Mottschall, M.; Kasten, P.; Rodríguez, F. Decarbonization of on-road freight transport and the role of LNG from a German perspective. Unter Mitarbeit von Öko-Institut und International Council on Clean Transportation (ICCT). Öko-Institut, 2020.

- Öko-Institut (2021): Matthes, F. C.; Braungardt, S.; Bürger, V.; Göckeler, K.; Heinemann, C.; Hermann, H.; Kasten, P.; Mendelevitch, R.; Mottschall, M.; Seebach, D.; Cook, V. Die Wasserstoffstrategie 2.0 für Deutschland, Untersuchung für die Stiftung Klimaneutralität. Öko-Institut. Öko-Institut e.V. (Hg.), 2021.
- Prognos (2021): Dambeck, H.; Ess, F.; Falkenberg, H.; Kemmler, A.; Kirchner, A.; Kreidelmeyer, S.; Lübbers, S.; Piégsa, A.; Scheffer, S.; Spillmann, T.; Thamling, N.; Wünsch, A.; Wünsch, M. et al. Klimaneutrales Deutschland 2045, Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. Unter Mitarbeit von Prognos; Öko-Institut und Wuppertal Institut. Prognos, 2021.
- REDII (2018): European Commission. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable source (recast), REDII, Fassung vom 11.12.2018. In: *Official Journal of the European Union* L 328, S. 82–209. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>, zuletzt geprüft am 20.11.2019.
- Regulation (EU) 2019/1242 (2019): Parliament and Council of the European Union. Regulation (EU) 2019/1242 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 setting CO2 emission performance standards for new heavy-duty vehicles and amending Regulations (EC) No 595/2009 and (EU) 2018/956 of the European Parliament and of the Council and Council Directive 96/53/EC, Regulation (EU) 2019/1242. In: *Official Journal of the European Union* L 198, S. 1–39. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R1242&from=EN>, zuletzt geprüft am 23.10.2019.
- Roland Berger (2018). Trends in the truck & trailer market, Market study. Roland Berger. Roland Berger Strategy Consultants (Hg.), 2018. Online verfügbar unter <https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/Trends-in-the-truck-trailer-market.html>, zuletzt geprüft am 15.12.2021.
- Schaal, S. (2021): Mercedes GenH2 Truck darf auf die Straße. Rabbit Publishing GmbH (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.electrive.net/2021/10/26/mercedes-genh2-truck-darf-auf-die-strasse/>, zuletzt geprüft am 14.12.2021.
- SRU (2021): Hornberg, C.; Kemfert, C.; Dornack, C.; Köck, W.; Lucht, W.; Settele, J.; Töller, A. E. Wasserstoff im Klimaschutz: Klasse statt Masse, Stellungnahme. SRU. Sachverständigenrat für Umweltfragen (Hg.). Berlin, 2021.
- Steinbeis (2011): Lohre, D.; Bernecker, T.; Gotthardt, R. Praxisleitfaden zur IHK-Studie „Grüne Logistik“, Umsetzungsbeispiele und Handlungsempfehlungen aus der Praxis. Unter Mitarbeit von Steinbeis-Beratungszentrum Spedition und Logistik (Steinbeis). Steinbeis. Industrie und Handelskammer (Hg.), 2011.
- T&E (2021a): Unterlohner, F. How to decarbonise long-haul trucking in Germany, An analysis of available vehicle technologies and their associated costs. T&E. Transport & Environment (Hg.), 2021.
- T&E (2021b): Unterlohner, F.; Krajinska, A. LNG trucks: a dead end bridge, Emissions testing of a diesel- and a gas-powered long-haul truck. T&E. Transport & Environment (Hg.), 2021. Online verfügbar unter <https://www.transportenvironment.org/discover/lng-trucks-a-dead-end-bridge/>, zuletzt geprüft am 29.10.2021.
- The Boston Consulting Group (2018): Gerbert, P.; Herhold, P.; Buchardt, J.; Schönberger, S.; Rechenmacher, F.; Krichner, A.; Kemmler, A.; Wünsch, M. Klimapfade für Deutschland, Studie im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Industrie (BDI). Unter Mitarbeit von The Boston Consulting Group und Prognos. The Boston Consulting Group. Berlin, Basel, Hamburg, 2018.

UBA (2021). Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2021, Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2019. UBA. Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau, 2021. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-19_cc_43-2021_nir_2021_1.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2021.